金 融 研 究

2024 年 10 月 / 第 43 巻 第 4 号

日本銀行金融研究所

金 融 研 究

2024 年 10 月 / 第 43 巻 第 4 号

目　次

日本銀行金融研究所

「物価変動と金融政策の課題
―教訓と展望―」
2024 年国際コンファランスの模様

1. はじめに

日本銀行金融研究所は、5 月 27 日～28 日に「物価変動と金融政策の課題―教訓と展望―」をテーマとして 2024 年国際コンファランスを開催した[1]。1983 年の初回以降、今年で 29 回目を迎えた本コンファランスは、日本銀行の金融政策の「多角的レビュー」の一環として開催され、物価変動ダイナミクスと伝統的・非伝統的金融政策について活発な議論が行われた。

植田和男（日本銀行）の開会挨拶に続き、ジョン・B・テイラー（スタンフォード大学）が近年の米国をはじめとする各国のインフレと金融政策について論じた前川講演を行った。また、内田眞一（日本銀行）が日本の過去 25 年間の物価変動について、金融研究所海外顧問のマーカス・ブルネルマイヤー（プリンストン大学）が回復力を意味するレジリエンスを踏まえた金融政策について、それぞれ基調講演を行った。論文報告セッションでは、ジョン・H・コクラン（スタンフォード大学）、法眼吉彦（日本銀行）、ソフォクルス・マブロエイディス（オックスフォード大学）、リカルド・ライス（ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス・アンド・ポリティカル・サイエンス）が、物価と金融政策に関する理論的・実証的な研究の報告と討議を行った。

.....

本稿は “Price Dynamics and Monetary Policy Challenges—Lessons Learned and Going Forward—Summary of the 2024 BOJ-IMES Conference,” *Monetary and Economic Studies*, 42（forthcoming）の日本語版である（文責：日本銀行金融研究所）。本コンファランスのオーガナイザーとして、金融研究所の海外顧問であるマーカス・ブルネルマイヤー教授およびアタナシオス・オルファニデス教授、およびその他のすべての参加者に対し、示唆に富んだプレゼンテーションや議論に感謝の意を表したい。ただし、本稿に示された意見は、すべて発言者ら個人に属し、その所属する組織の公式見解を示すものではない。

1 プログラムは参考 1 を参照。参加者リストは参考 2 を参照。所属はコンファランス開催時点のもの（敬称略）。

さらに、1つ目の政策パネル討論では金融研究所海外顧問のアタナシオス・オルファニデス（マサチューセッツ工科大学）を座長とし、物価変動をテーマとして、チャールズ・L・エバンス（前シカゴ連邦準備銀行）、ピエール＝オリヴィエ・グランシャ（国際通貨基金）、オッリ・レーン（フィンランド中央銀行）、エリ・レモロナ Jr.（フィリピン中央銀行）、ボシティアン・ヴァスレ（スロベニア銀行）の5名がパネリストを務め議論をかわした。ブルネルマイヤーを座長とする2つ目の政策パネル討論では、伝統的・非伝統的金融政策の効果をテーマとして、ミシェル・W・ボウマン（連邦準備制度理事会）、トーマス・J・ジョルダン（スイス国民銀行）、ロレッタ・J・メスター（クリーブランド連邦準備銀行）、イザベル・シュナーベル（欧州中央銀行）、氷見野良三（日本銀行）の5名がパネリストを務め議論をかわした。

2. 開会挨拶

植田は、国際コンファランスの導入として、日本銀行が本年3月に実施した金融政策の枠組みの見直しに言及した後、過去25年間について振り返った[2]。**植田**は、日本銀行が多岐にわたる非伝統的な金融政策を実施したにもかかわらず、ゼロ・インフレまたは低インフレから長きにわたり脱却できず、「ゼロ・インフレの罠」に陥ってしまったのはなぜかと問いかけ、その主因として「ゼロ金利制約（Zero Lower Bound: ZLB）」を挙げた。オーバーナイト・コールレートは、1995年後半までには既に0.5％を下回る水準まで低下しており、その後にゼロ・インフレの罠が始まるまでには、日本銀行は、経済を刺激するための短期金利に対する影響力を既に使い切ってしまっていた、と指摘した。

一方、ゼロ・インフレの罠に陥った最初の数年間において、明示的なインフレ目標がなかったことや、2013年に入るまでは、日本銀行の長期国債の保有残高は顕著に増えておらず、長期国債の買入れペースは比較的遅いものであったことを挙げ、日本銀行が採用した政策枠組みの展開について、いくつかの点でその時点で最適ではなかったとの指摘もあるかもしれない、と付言した。

また、**植田**は、日本銀行が困難に直面したもう1つの理由として、低インフレが持続するという予想が定着したことを挙げ、これが、経済主体の行動変化、とりわけ、企業の戦略的な価格設定行動の変化につながり、ゼロ・インフレの罠に陥っていた期間を長引かせることになった、と指摘した。しかし、2014年以降には明確な変化が現れ、賃金が小幅ながらも上昇しはじめ、その後、昨年から今年にかけて、近年の世界的なインフレとそれまでの金融緩和の枠組みが維持されたことの影響から、急激に上昇していった、と述べた。

2 詳細は、植田［2024］を参照。

最後に、これまでのところ、インフレ予想をゼロ％から押し上げることには成功したようにみえるものの、今後は、それを 2％の目標値にアンカーしなければならない、と述べ、日本銀行は、その実現に向けて注意深く進んでいくつもりだとして、開会挨拶を結んだ。

3. 前川講演：The Way to Stability and Growth in the World Economy（世界経済の安定と成長への道）

テイラーは、最初に、2008 年の国際コンファランスにて自身が行った第 1 回前川講演[3] の内容を振り返った[4]。まず、第 1 回講演当時の主要な懸念の 1 つが、最近の主要な課題であるインフレ高進だったこと、に言及した。そのうえで、足もとでは政治経済的および地政学的な結び付きが強まっているため、インフレだけではなく、それ以外の経済問題の多くも、互いに強く共鳴していると述べた。さらに、世界的な高インフレ等を含む、経済問題への対処にあたって、諸問題を個別に取り扱うのではなく、各問題間の重要な相互作用を認識したうえで、包括的かつ国際的に政策を検討する「前川的（包括的）アプローチ」の重要性を強調した。

次に、近年の米国をはじめとする各国のインフレと金融政策について論じた。米国等では、テイラー・ルールが示唆する政策金利と比べて、今回の利上げのタイミングは遅く、低金利期間が長かったことを指摘し、この結果、中央銀行はビハインド・ザ・カーブ（behind the curve）に陥り、高インフレを招いたとの見方を示した。そうしたもとで、①連邦準備制度（Federal Reserve: Fed）は、シンプルなバージョンのテイラー・ルールが示唆する 4％程度の金利水準を大きく超える 5％台まで政策金利を引き上げるに至ったことや、②米国近隣のラテン・アメリカ諸国も同様にビハインド・ザ・カーブの状態に陥った可能性があることを指摘し、この現象は世界的な現象であり、インフレは世界的な問題になった、と述べた。

テイラーは、「世界は高インフレ期（a new era of high inflation）に突入したのか」との問いを投げかけ、中央銀行が政策を調整し続けないならば、答えは明確な「イエス」であると指摘した。中央銀行はこれまで以上にルール・ベースの政策運営を行うことで、ビハインド・ザ・カーブを避けることができ、結果として、経済に大きなダメージを与えうる急速な利上げを回避できると主張し、講演を締めくくった。

フロアとの質疑では、最初に、本セッションの議長である**ピーター・カジミール**（スロバキア国民銀行）が、相互連関性が強まったグローバル経済における中央銀行間の政策協調の重要性や、将来の経済ショックの影響を軽減するための予防的な

3 詳細は、Taylor [2008] を参照。
4 詳細は、Taylor [2024] を参照。

（preemptive）政策対応について質問した。**テイラー**は、統合が進んだ世界経済において政策協調の概念は非常に重要である述べたほか、インフレ目標の水準、実体経済の状態、為替レートへの配慮、政策反応関数におけるインフレ率の係数等、さまざまな観点から議論を重ねておくことで、正しい政策対応を行う準備ができるのではないか、と述べた。

続いて、ルールに基づく金融政策運営の在り方等について、いくつかの質問やコメントが寄せられた。**オルファニデス**は、米国では 2021 年以降のインフレ高進が例外的事象として認識され、予想インフレ率が驚くほどアンカーされていたことを指摘し、そのもとで Fed は利上げを急がずビハインド・ザ・カーブに陥り、その後、テイラー・ルールによって示唆される金利水準を超えて利上げせざるをえなくなった点について、見解を尋ねた。**ジョルダン**は、経済を巡る不確実性を踏まえると、中央銀行は常にルールに従って政策判断を行うのではなく、状況によっては裁量的な政策判断を行う方がよいという考え方があると述べ、それに対する見解を求めた。**メスター**は、多くの相反する事象を踏まえると、中央銀行が裁量を捨ててルールに固執することは難しいだろう、と述べた。**青木浩介**（東京大学）は、ゼロ金利制約のもとでの最適な金融政策は、インフレ率のオーバーシューティングを許容することだが、最近のビハインド・ザ・カーブの議論をかんがみると、グローバル・インフレ期以前に、このような歴史依存型金融政策（history-dependent monetary policy）の利点が強調されすぎていたのではないか、と疑問を投げかけた。**テイラー**は、これまでの経験上、ルールに基づく政策運営は上手く機能してきたが、そのことは政策ルールが完璧であることを意味しておらず、政策ルールにどの変数や要素を考慮するかという意味において、裁量的な政策判断について議論する余地があると答えた。また、オーバーシューティングの利点のみを強調することに否定的な見方を示し、画一的な見方をするのではなく、さまざまな経済モデルで評価することが重要なのではないか、との見方を示した。

さらに、政策ルールの特定化や適用方法等について、さまざまな議論がなされた。**レーン**は、戦略的レビューの結果を踏まえて、欧州中央銀行（European Central Bank: ECB）がインフレ目標の数値的表現を上下対称に変更したことに言及し、そのことがインフレの安定化に寄与した、とコメントした。**岩田一政**（日本経済研究センター）は、米国の中立金利に対する見解を問うた。**若田部昌澄**（早稲田大学）は、日本のように、インフレ予想を 2%にアンカーさせる途上だったとしても、テイラー・ルールを厳格に適用し、利上げをするべきなのか、と意見を求めた。**レモロナ**は、フォワード・ガイダンスは、ルールに基づく政策金利を、どの程度足もとの金利に反映させるのかという文脈において、スムージング・パラメータに関する裁量を反映しているとの見解を述べ、そうした裁量は、ビハインド・ザ・カーブに陥る可能性を高める傾向がある、とコメントした。**吉野直行**（慶應義塾大学）は、

インフレの発生原因が、需要要因と供給要因のどちらかによって、政策ルールが変わりうるかを尋ねた。**エバンス**は、ベースラインとなる単一の正確なルールのみを追求するのではなく、複数の代替的なシナリオを検討することが重要であると論じた。これらの質問・コメントに対して、**テイラー**は、潜在成長率の推計、中立金利の水準、国際的に連関する供給要因の識別等は容易ではなく、金融政策運営を困難化させる要因であると述べ、それらについて学界と政策担当者の間で絶えず議論することが重要であるとの認識を示した。また、これまでに提示された論点からわかるように、政策ルールを 1 つに定める必要はなく、政策当局は、さまざまな政策ルールをモデル化して、それらを評価しながら、より良いルール・ベースの政策運営に向けた議論を深めることが重要である、と応じた。

4. 基調講演①：Price Dynamics in Japan over the Past 25 Years（わが国における過去 25 年間の物価変動）

内田は、わが国における過去 25 年間の物価変動を振り返り、この間の金融政策運営を、端的にいえば、「しつこいデフレとの闘い」であり、「ゼロ金利制約との闘い」であったと評した[5]。そして、現在の日本の物価を巡る動向の変化が、不可逆的なデフレからの構造変化を意味するのか、あるいは、単に一時的な現象にすぎないのか、との論点を提示し議論を展開した。

最初に、デフレが生じた背景として「成長トレンドの低下」と「慢性的な需要不足」の 2 つを指摘し、潜在成長率が下がり、自然利子率が趨勢的に低下してきた、と述べた。この背景として、1990 年代初頭の資産バブルの崩壊を契機として、金融システムの混乱や、企業部門における痛みを伴うバランスシート調整が生じたことを指摘した。さらに、過剰設備、過剰雇用、過剰債務への対応を余儀なくされたもとで、企業は次第にリスクテイクに慎重になり、新興国の台頭に伴うグローバル化の潮流への対応の遅れもあいまって、わが国の自然利子率が、他国対比で、より早くかつより大きく低下した、と述べた。

また、**内田**は、2000 年代にかけて、ゼロ金利制約に直面するもとで、日本銀行の金融政策は、実績インフレ率や予想インフレ率を押し上げる十分な力を発揮できなかったと述べた。さらに、社会のコンセンサスとして「雇用を守る」ことが重視され、雇用や企業数の過剰が残された結果、価格面では、企業は絶えず厳しい競争に晒され続けたほか、賃金面では、雇用の安定と引き換えに賃金が削減されたと指摘した。こうして、企業の間では、「物価と賃金が変わらない（no change in prices and

5 詳細は、内田［2024］を参照。

wages）」ことを前提とした価格設定行動が広がり、ある種の社会的なノルム（social norm）となり、このノルムが、あたかも、インフレ予想がゼロ％でアンカーされているかのように働いたと指摘した。

次に、日本銀行は、2013 年以降、量的・質的金融緩和（QQE）やイールドカーブ・コントロール（YCC）等の政策によって経済に高圧をかけ続け、政府の諸施策とあいまって、デフレのそもそもの原因である需要不足とその結果として生じた過剰な労働供給は解消された、と述べた。デフレ的なノルムの克服については、答えはそこまで明白ではないものの、近年の世界的なインフレが最後の一押しとして作用し、人手不足が続くもとで、社会的なノルムは解消に向かっている、と述べた。

最後に、インフレ予想を 2％にアンカーしていくという課題は残っているものの、デフレとゼロ金利制約との闘いの終焉は視野に入っていると評価し、基調講演を締めくくった。

フロアとの質疑で、**伊藤隆敏**（コロンビア大学）は、財とサービスの間の価格変動の違いを指摘したうえで、公共料金等を含むサービス価格においても、ノルムが解消したといえるのか、と問うた。**ブルネルマイヤー**は、日本では、金融危機後に企業数や雇用が維持されたことに伴い、生産性の低い企業に労働者が滞留し、潜在成長率や自然利子率が低下したのではないかと指摘したうえで、適切な実質賃金上昇率や企業倒産率はどの程度なのか、と尋ねた。**岩田**は、実質金利と実体経済の動きをかんがみると、自然利子率は、多くの人が予想する水準よりもはるかに低いのではないか、と指摘した。これらの質問に対し、**内田**は、現時点でサービス価格のノルムが解消したとはいい切れない点に同意したうえで、不確実性はあるものの、労働市場の変化が不可逆的な構造変化であれば、サービス価格のノルムも変化するだろうと答えた。また、人手不足が、企業による賃金・価格の設定行動の変化を促し続けるならば、最終的には、自然利子率の押上げにもつながる可能性がある、との見方を示した。さらに、自然利子率の推計の難しさを強調しつつ、その水準が非常に低かった可能性もあると応じた。

ライスは、2％の物価安定目標と実際のインフレ率との間で乖離が続いた点に関し、中央銀行としての信認が毀損することはなかったかと尋ねたほか、メニュー・コストの存在をかんがみると、日本のインフレ率が平均的に 1％未満で推移してきたことは、それほど大きな問題ではないとの見方も存在するのではないかとコメントした。**カジミール**は、この間の低金利環境における、金融政策と財政政策の相互作用から得られた含意を問うた。**内田**は、日本銀行がこれまで 2％の物価目標を達成できなかった理由についていくつかの見方があると述べ、それらが中央銀行の信認に与えた影響は定かではないとし、また、日本銀行がインフレ目標を設定した後の 10 年間で、平均的なインフレ率は緩やかながらも着実に上昇し、デフレではない状態に移行したと答えた。さらに、その 10 年間、政策の効果と副作用のバラン

スをとるように配意しながら政策対応を行ったことを付言した。また、中央銀行は自らの物価安定目標に応じた政策を採るべきであり、2%の物価安定の目標を達成した後に、財政支援を目的として金利を低位に据え置くようなことはない、との見方を示した。

ジョルダンは、非常に緩和的な金融政策が続く中、賃金が急上昇し、インフレ率も突如として急騰するリスクについて尋ねた。**オーサ・オッリ・セーゲンドルフ**（スウェーデン・リクスバンク）は、日本では賃金交渉がバックワード・ルッキングで実施される傾向があり、そのことが低インフレの原因の 1 つであることを指摘した研究例に言及し、その傾向の変化が、今後の物価動向に与える影響について質問した。**内田**は、これまでのところ賃金上昇率は物価上昇率に追い付いておらず、制御困難な賃金・物価上昇のスパイラルが生じるといったリスクを懸念する状況ではない、と答えた。また、この 2 年間に生じた春季労使交渉における大きな変化が今後の物価動向に与える影響について、注視していく、と述べた。

5. 基調講演②：(Un)conventional Monetary Policy and Resilience（＜非＞伝統的金融政策とレジリエンス）

ブルネルマイヤーは、負のショックに対して実体経済が落ち込んだ後に回復する力（レジリエンス、resilience）について紹介し、レジリエンスを重視する伝統的・非伝統的金融政策の運営（レジリエンス・アプローチ）について議論した。最初に、よく知られている 2 つのアプローチである、将来の経済予測を基にリスク間の相関関係を考慮してリスクを最小化するというリスク・マネジメント・アプローチと、リスクが顕在化した際のダメージを最小化しようとするロバストネス・アプローチとの比較を行った。レジリエンス・アプローチでは、新しい環境に適用する力（adaptability）と、実際にショックが発生したときに速やかに効果的な対策をとる敏捷性（agility）が重視されると述べ、同アプローチのもとでは、他のアプローチ対比、長期的に高い経済成長を達成できる、と論じた。

レジリエンス・アプローチの留意点として、第 1 に、マクロレベルのレジリエンスは、ミクロレベルのレジリエンスを必ずしも意味しない、と論じた。例えば、1990 年代後半の日本の金融危機では、ある程度の企業倒産を許容し、企業の新陳代謝を促すことが重要であったと述べた。第 2 に、リスクの大きさではなく、リスクの性質を把握することが重要であると述べ、回復することができない「罠（trap）」や負のフィードバック・ループに陥らせる「転換点（tipping points）」を見極めることがレジリエンスにとって必須であると論じた。レジリエンスを損なう罠の一例として金融危機を挙げ、金融危機後、一度落ち込んだ GDP は回復しない傾向にある

と述べた。

次に、金融政策に焦点を当てて、フォワード・ガイダンスは、コミットメントが弱いと効果が限定される一方、コミットメントが強いと外的環境変化に適応できずレジリエンスが損なわれ、罠にはまりうるという意味において、トレードオフの関係にあると論じた。量的緩和（Quantitative Easing: QE）については、利上げ時に中央銀行の財務を悪化させるため、政府が中央銀行の行動を制限する財政従属（fiscal dominance）を強める可能性があるほか、そのような経路を念頭に、利上げを急速に行わないであろうと市場が予想することを通じて、「暗黙のフォワード・ガイダンス（implicit forward guidance）」として作用してしまう可能性を指摘した。

一方、レジリエンスに資する QE として、利上げ準備のための QE（preparatory QE）を提唱した。金融機関が大きな金利リスクを抱えるもとでの利上げは、金融安定を損なう可能性があるとして、QE によって事前に金利リスクを吸収できれば、利上げの自由度を確保でき、レジリエンスの強化に資する、と論じた。また、中央銀行が、赤字や債務超過に陥ると、その受け止められ方次第では信任の低下という罠に陥る可能性があるため、法定準備預金と超過準備の配分見直しを通じて、金融機関への利払いを抑えることも一案である、と論じた。最後に、国際的なレジリエンスのメカニズムとしての変動為替相場制に言及し、講演を締めくくった。

フロアとの質疑では、**シュナーベル**は、予想インフレのアンカリングとレジリエンスの関係について質問した。次に、もし中央銀行が準備率操作を行いたいならば、金融政策手段の 1 つとして議論されるべきであると述べたうえで、準備率操作が市場に予期されることで、超過準備の拡大を避けるインセンティブが金融機関に生じ、かえって QE の効果を弱める等、意図しない副作用や再分配効果をもたらす懸念はないか、と問うた。**ブルネルマイヤー**は、予想インフレのアンカリングはレジリエンスにとって最も重要（paramount）だと答えた。また、準備率操作は、その割合を変更することを通じて平均的な金利を調整していることを意味するため、金融政策手段だと解釈できる、と述べた。準備率の変更が予期せぬ再分配効果をもたらすことは否定できず、銀行間だけでなく、銀行セクターからノンバンク・政府への再分配も引き起こしうると同意した。

内田は、変動為替相場制がレジリエンスを高めることについて同意しつつも、Fed が世界金融危機（Global Financial Crisis: GFC）後に QE を実施した際に、他の中央銀行がそれに追随しないことは現実的には難しかったのではないかと言及し、グローバルにレジリエンスを高める金融政策アプローチについては、中央銀行コミュニティ内でも議論されるべきだろうと主張した。**ブルネルマイヤー**は、現在の国際通貨体制のもとでは、ある国で発生した負のショックを、その国の通貨切下げを通じてある程度緩和することが非公式には許容されていると述べつつも、限度を超えた近隣窮乏化政策（beggar-thy-neighbor policy）としては許容されておらず、そ

うしたコンセンサスを形成するために、中央銀行間で理解を深めることは重要であると応じた。

ジョルダンは、利上げ前に行う QE に際して、銀行セクターから大量の長期債を買い入れる場合には、中央銀行における当座預金が積みあがることになると述べたうえで、そうした状況下でゼロ金利が課される法定準備預金の割合を高めると、銀行システムにストレスをかけることにならないか、と問うた。**ブルネルマイヤー**は、金利リスクをすべて吸収する必要はなく、利上げによる影響が、金融システムの安定を損なわない程度までコントロールすればよいとしたうえで、銀行は法定準備率の引上げによる影響を吸収できるだろうと述べたほか、QE を危機への耐性を強化するための政策と考えるべきだと強調した。**グランシャ**は、QE を利上げ前の備えとして（as a preparatory tool）用いることは、国債を高値で買い取ることになるため、金融機関に対してプット・オプションを提供していることになるのではないか、と質問した。**ブルネルマイヤー**は、銀行セクターの金利リスクが、将来の利上げペースを制限する可能性を注視することが重要であり、中央銀行が高値で国債を買い取ることに主眼があるわけではない、と答えた。

植田は、日本銀行は、当期剰余金の一部を準備金として積み立てており、これは、最終的な出口に備えての適用力（adaptability）を高める施策だと考えることが可能か、と問うた。また、日本銀行による ETF 等のリスク性資産の買入れに対する見方について質問した。**ブルネルマイヤー**は、バランスシート上の純資産を増やす取組みは、将来の損失に備える意味で非常に賢明な判断であると評価したほか、リスク性資産の買入れは、金融機関のバランスシート制約を緩和するという意味において、経済全体のレジリエンスを高めるツールとみなすことができると回答した。

エバンスは、レジリエンス・アプローチが、他のアプローチと比べて、長期的に望ましい成果をあげられるとする主張と、金融政策は長期的に中立という一般的な理解の間の整合性について問うた。**ブルネルマイヤー**は、確かに単純なニューケインジアン・モデルでは、金融政策は長期的に中立であるものの、例えば金融政策が民間の投資に影響を与えるような複雑なモデルを考えると、金融政策が長期的な効果を発揮することは十分考えられる、と回答した。

コクランは、レジリエンス・アプローチの重要性を認めつつも、自分たちがどの状態にいるのか、転換点がどこにあるのかを把握することは、現実的に可能なのかと質問した。また、準備率を引き上げると同時に、法定準備預金に付利を行わないならば、金融機関は預金者に金利を支払うことが難しくなり、その結果として過去の金融抑圧（financial repression）のようになるのではないか、と指摘した。さらに、銀行の金利リスクの管理は規制当局の仕事であるほか、こうした金利リスクは、本来は資本を使って吸収すべきなのではないかと指摘し、中央銀行が QE を通じて市場全体から金利リスクを吸い上げることの妥当性について、疑問を呈した。**ブルネ**

ルマイヤーは、転換点等の把握が難しいからといって諦めるのではなく、把握への取組みを続ければ何らかの解決策が得られるであろうと回答した。また、法定準備預金に付利しないことは金融抑圧とも解釈されうるが、そもそも、銀行セクターが、預金市場における寡占を背景に、準備預金への付利金利を預金金利に十分にパススルーしていなかったのであれば、付利しないことは、金融抑圧というよりは、付利金利と預金金利の差を縮小させる修正力（corrective force）として効果を発揮するだろう、と回答した。

6. 論文報告セッション

（1） Inflation, Monetary and Fiscal Policy, and Japan（インフレーション、金融・財政政策と日本）

コクランは、まず、バブル崩壊があった 1990 年代初頭以降の 30 年間の日本の経済物価動向を概観して、この期間の金融政策は、物価の安定、貨幣保有の限界費用をゼロにするゼロ金利、流動性需要の飽和を達成したという意味で、最も望ましい帰結をもたらしたと主張した[6]。金融政策は長期的に実体経済に中立であることをかんがみると、過去 30 年間の経済低迷の原因は金融政策ではなく、その他の問題に帰すると述べた。過去、日本は、米国のような最先端の技術を持つフロンティアの経済に収斂するという、キャッチアップ型の成長を遂げたと述べ、その後は、生産年齢人口当たり GDP 成長率でみると、フロンティアの成長率に近い伸びを示してきたと指摘した。さらに、バブル崩壊についても、フロンティアへの移行過程として表現できると述べた。

続いて、物価水準の財政理論（Fiscal Theory of the Price Level: FTPL）を紹介し、財政の長期的な持続性についての期待がインフレ率の決定にとって重要であると指摘した。FTPL のもとでは、国債の発行残高増加に対して、将来の増税や財政支出削減で国債の償還が賄われるという期待があればインフレは生じない一方、そのような期待がなければインフレが生じる。日本の経験は、さまざまなインフレ理論のうちどれが正しいのかを示す決定的なテストであったと述べたうえで、ゼロ金利のもとでもデフレ・スパイラルや複数均衡に起因する価格変動がみられなかった日本経済は、標準的なニューケインジアン・モデルではなく、FTPL と親和的であると指摘した。さらに、QE のもとで、マネーと政府債務の大規模な交換が行われたにもかかわらずインフレ率が上昇しなかったことから、マネタリズムの主張も必ずし

6 詳細は、Cochrane [2024] を参照。

も当てはまらないと付言した。

最後に、コロナ禍におけるインフレの要因に関して、Barro and Bianchi [2023] について触れ、各国のインフレ率は財政赤字・政府債務残高比率と相関しており、FTPL による示唆と整合的であると指摘した。加えて、景気後退なしにインフレ率が低下した点も、FTPL と整合的であると指摘した。日本のインフレ率が相対的に低かった理由としては、政府債務残高がすでに大きかったこと、財政支出がそれほど大きくなかったこと、政府への信認が高かったことを挙げた。

討論者の**須藤直**（日本銀行）は、1990 年代前半以降の日本の需給ギャップの推移をみると、マイナスで推移する時期が多い傾向があり、これは、恒常的な需要不足が生じていたことを示唆するとともに、だからこそインフレ率が低位で推移したと指摘した。FTPL については、まず、レジームによって政策的な含意が大きく変わるだけに、レジームが、積極的（active）な金融政策と消極的（passive）な財政政策の組み合わせなのか、それ以外なのかを識別することが重要だと述べた。Sunakawa [2024] の研究に触れつつ、日本の家計と米国の家計とで、将来の政府の債務管理・財政政策スタンスについての予想が異なり、それが両国のインフレの違いに影響している可能性があると述べた。**コクラン**は、レジームの識別は難しいものの、約 30 年間続いたゼロ金利環境下において、どのような事象が生じたかを吟味することを通じてレジームに関する知見が得られるのではないか、と述べた。

フロアからは、**シュナーベル**は、QE による広義マネーおよびインフレ押上げ効果は、銀行部門のバランスシートの強さ等の経済環境に依存するのではないかと尋ねた。**コクラン**は、その点に同意したうえで、M2 でマネーを考えるのであれば、中央銀行はマネーを制御できないと述べた。**レモロナ**は、ドルや米国債の国際的地位が、FTPL 等の議論にどう影響するのかを問うた。**コクラン**は、海外主体によるドル保有需要は、米国債の利回りをやや低下させるものの、FTPL から得られる示唆には影響しないと回答した。

植田は、FTPL の考え方が妥当ならば、1990 年代後半の日本においては、財政赤字が拡大するもとで、インフレ率はマイナスとなっていたが、当時の人々の間に、財政赤字に財源の裏打ちがある（funded deficit）という考え方があったということの証拠になるのか、と指摘した。**コクラン**は、FTPL の成立有無を推計によって確認することは難しいものの、政府への信頼の有無は、計量経済学的観点よりも経済史的観点から検証することが重要である、と応じた。

エバンスは、2022 年におけるインフレ高進について触れ、当時、サプライ・チェーンの混乱等の供給ショックが生じており、こうした要因が物価を上昇させたと考えるのが自然であると述べ、財政政策がどのようにインフレに寄与したのか尋ねた。**コクラン**は、供給ショックは、相対価格変動を引き起こすものの、物価水準全体の上昇を引き起こすためには、緩和的な金融・財政政策が必要だと回答した。**塩路悦**

朗（中央大学）は、日本銀行の YCC が国債のターム・プレミアムを押し下げたことで、本来の政策意図とは反対に、FTPL のメカニズムを通じて、インフレ圧力を緩和した可能性はあるのか、と疑問を投げかけた。**ジョルダン**は、日本の金融政策がより引締め的なものだったならば、どのような結果になっていたと想定されるか、また、どのような政策であれば 2%のインフレ率をより早く達成できたかとの論点を提示した。**マブロエイディス**は、コクランが言及した政府債務とインフレ率の関係は相関関係であり因果関係ではないと指摘した。**コクラン**は、確かに相関関係であると認めつつも、それ自体興味深い事実だと述べた。**岩田**は、フリードマン・ルールのもとでは、理論的には持続的なデフレが生じるのではないかと指摘した。**コクラン**は、日本については、名目・実質金利がともにほぼゼロだったために、インフレ率がマイナスにならなかったと述べた。

(2) On the Zero-Inflation Norm of Japanese Firms（わが国企業の価格設定行動と「ゼロインフレ・ノルム」について）

法眼は、わが国企業の「ゼロインフレ・ノルム」に関する分析を報告した[7]。ここでいうゼロインフレ・ノルムとは、企業が相応に長い期間において価格を据え置く状態を指すと述べた。まず、わが国の消費者物価について、その基礎統計にあたる小売物価統計調査の品目・都市レベルデータを用いて、1990 年代から足もとまでの価格改定頻度等の観察結果を説明した。具体的には、対象期間を、1990 年から 1994 年のインフレ期（フェーズ 1）、1995 年から 2020 年の低インフレ期およびデフレ期（フェーズ 2）、2021 年から 2023 年の高インフレ期（フェーズ 3）に分けて整理し、ゼロインフレ・ノルムは、フェーズ 2 の時期に、財部門よりもサービス部門において顕著であったと述べた。また、フェーズ 1 から 2 にかけて、サービス部門において、上方の価格改定頻度が顕著に低下し、他方で、下方の価格改定頻度の上昇が限定的であったことが、フェーズ 2 におけるゼロインフレ・ノルムの形成に帰結したと述べた。

次に、平易なメニュー・コスト・モデルを用いて、ゼロインフレ・ノルムの形成について論じた。モデルのシミュレーションの結果、ゼロインフレ・ノルムの形成は、フェーズ 1 から 2 において生じたインフレ率の低下により最大で半分程度説明できること、残りの半分を説明するためには、フェーズ 1 から 2 において、メニュー・コストの上昇や、価格設定における戦略的補完性の高まり等、追加的な変化が生じたと想定しなければならないことが示された。**法眼**は、これらを踏まえると、フェーズ 2 において、実際の企業は、モデルが想定する以上に、価格を変える

7 詳細は、Furukawa *et al*. [2024] を参照。

ことに対して消極的・慎重になっていたことが示唆される、と主張した。

討論者の**パオロ・ペセンティ**（ニューヨーク連邦準備銀行）は、ゼロインフレ・ノルムの発現は日本社会特有のものなのか、日本のゼロインフレ・ノルムの発現のタイミングと長期化を説明するナラティブは何か、ゼロインフレ・ノルムは終わったのか、それとも繰り返しうるのかという 3 点について質問した。**法眼**は、ゼロインフレ・ノルムは、過去に他国でもみられたこと、さらに標準的なメニュー・コスト・モデルによって相応に説明可能であることから、必ずしも日本特有のものではないと回答した。ナラティブについては、1990 年代前半以降の中立金利の趨勢的な低下と ZLB のもとで企業間の価格競争が激化し、その結果、企業が価格改定に対して消極的・慎重になった可能性がある、と述べた。最後に、これまでのところ、ノルムは解消に向かっているとみられるが、過去、メニュー・コストや戦略的補完性の度合いが変化したという点は、将来も変わりうることを示唆するため、不確実性が存在すると返答した。

フロアから、**コクラン**が、本分析は、ゼロインフレ・ノルムの説明を試みているのか、あるいは、メニュー・コスト・モデルの限界を示そうとしているのか問うた。また、価格データの分析において、季節性や特売がどのように扱われているかも質問した。**法眼**は、ゼロインフレ・ノルムの形成にはメニュー・コストの上昇や戦略的補完性の高まり等さまざまな可能性があるもと、どちらか 1 つですべてを説明しきることは難しいと述べ、続けて、価格データの分析では正規価格（regular price）に着目したと返答した。**オルファニデス**は、モデルは、価格変更が不公正かどうかという点についての家計の認識を考慮しているのか問うた。**法眼**は、モデルは価格変更が不公正かどうかについての認識を明示的に取り込んではいないが、戦略的な補完性の度合いの変化の中にはこうした要素が反映されている可能性がある、と回答した。**オッリ・セーゲンドルフ**は、賃金設定や企業収益の部門間の差異がゼロインフレ・ノルムに与える含意について問うた。**法眼**は、賃金設定は非常に重要であると強調しつつ、2000 年代初頭以降、多くの企業は、価格のマークアップ低下圧力に晒されるもとで、収益確保を試みており、特に、非製造業では、パート労働者の活用によって労働コストを下げていたと回答した。**岩田**は、社会の高齢化がゼロインフレ・ノルムに与える含意を問うた。**法眼**は、高齢化は、国内の需要減少を背景に、投資といった企業活動を国内から海外にシフトさせる等、間接的にゼロインフレ・ノルムに影響を与える可能性がある、と返答した。

（3） Testing the Effectiveness of Unconventional Monetary Policy in Japan and the United States（日本と米国における非伝統的金融政策の有効性の検証）

マブロエイディスは、非伝統的金融政策の有効性について論じたうえで、日本と米国を対象とした実証分析結果を報告した[8]。最初に、伝統的な金融政策ツールである短期名目金利が実効下限（Effective Lower Bound: ELB）に制約されるもとで、金融政策の有効性は制限されるとの見方と、逆に非伝統的金融政策が十分に有効であれば金融政策の有効性は制限されないとする 2 つの見方を紹介した。特に、後者の見方を、ELB は金融政策の有効性に影響しないという意味において「無関係仮説（irrelevance hypothesis）」と呼び、この仮説を説明しうる動学的一般均衡モデルを構築したことに触れたうえで、同モデルによるミクロ的基礎付けに裏付けられた統計的検証方法を提示した。

日本と米国のデータを用いて検証した結果、無関係仮説は明確に棄却されると述べた。すなわち、経済の動学は、経済が ELB 制約に服しているか否かに依存し、ELB が金融政策の運営にとって無関係であるとの仮説はデータによって強く否定されると述べた。次に、ELB が金融政策に影響したとすると、非伝統的金融政策はどの程度有効であったのかとの問いを投げかけ、ELB を考慮した構造 VAR の推計結果について説明した。無関係仮説の棄却からも示唆されるように、非伝統的金融政策ショックの効果は、ショック発生から間もない間は、伝統的金融政策ショックの効果よりも小さいと述べた。もっとも、非伝統的金融政策の効果はラグを伴って大きくなるケースがあると述べた。特に日本については、1〜2 年のラグを伴って生じる非伝統的金融政策ショックのインフレと需給ギャップへのプラス効果は、伝統的金融政策ショックのそれを上回るとの結果が得られたと述べた。以上のように、非伝統的金融政策の効果を論じるにあたっては、ELB と効果発現の時間軸を考慮する重要性を指摘し、議論を締めくくった。

討論者の**オッリ・セーゲンドルフ**は、本研究の分析は金融政策の実務にとって重要な示唆を与えるものだとしたうえで、非伝統的金融政策の効果の状態依存性について、ELB に制約されているか否かのほかにも、金融危機時と平常時の違いによって政策効果が異なりうるのか、と質問した。また、QE の場合は、買い入れる債券の年限によって政策効果は異なりうるのではないかと質問した。**マブロエイディス**は、政策効果の状態依存性に同意したうえで、本研究のモデルを拡張することで、さまざまな状態に応じた金融政策の効果の違いを分析できると返答した。

フロアからは、**ライス**が、長期金利として、10 年物金利ではなく 2 年物金利を用

8 詳細は、Ikeda *et al.* [2024] を参照。

いても結果は変わらないのかと尋ねたほか、ELB に直面するもとではインフレ予想を変化させることが政策運営上重要だが、本研究の枠組みではそうしたメカニズムを捕捉できるのか質問した。**マブロエイディス**は、2 年物金利を用いた場合でも分析結果は変わらなかったと返答したほか、インフレ予想に焦点を当てた分析の重要性について同意した。**オルファニデス**は、本研究の分析手法は中央銀行の政策関数の変化を捕捉できるのか、さらに、分析で用いている需給ギャップの指標に含まれる計測誤差に対してどのように対処しているか質問した。**マブロエイディス**は、前者についてはレジーム・スイッチング・モデルを用いることで捕捉可能であると返答した。後者については、計測誤差が結果に影響を与える可能性はあるとしたうえで、需給ギャップを観察できない変数としてモデルに組み込んだ定式化で推計することで、計測誤差の問題は回避することが可能だと述べた。**内田**は、非伝統的金融政策の効果が、短期では小さいもののラグを伴って大きくなるとの実証結果の背後にあるメカニズムについて質問した。**マブロエイディス**は、本研究ではあくまで実証分析の結果として得られたもので、メカニズムについては主に理論分析面での今後の重要な研究課題であると返答した。

塩路と**新谷元嗣**（東京大学）は、日本においては、QQE や YCC の導入等、非伝統的金融政策の枠組みが変遷しており、そうした異なる政策枠組みが実体経済に与える影響を、個別に実証分析することは可能か質問した。**マブロエイディス**は、インパルス応答を確認する際に、非伝統的金融政策の効果は、基本的に潜在金利を通じて捕捉しているが、モデルを拡張することで各政策の具体的な効果を分析することが可能だと返答した。**一上響**（慶應義塾大学）は、ELB の具体的な水準をどのように設定しているのか、また、それに応じて推計結果が変わりうるのか質問した。**マブロエイディス**は、ELB の水準は先行研究に倣って設定しており、ELB の水準に対する推計結果の頑健性も確認済であると返答した。

（4） Conventional and Unconventional Monetary Policies—Inflation and Resources（伝統的・非伝統的金融政策－インフレーションとリソース）

ライスは、伝統的・非伝統的金融政策手段および準備預金への付利について、安全資産保有に係る裁定条件からなるシンプルなモデルを用いて体系的に整理したうえで、インフレ目標のもとでの各政策手段の有効性を論じた[9]。

最初に、伝統的な金融政策手段である短期名目金利（政策金利）の操作について説明した。安全資産を保有することによる金利以外の便益（コンビニエンス・イー

9 詳細は、Castillo-Martinez and Reis [2024] を参照。

ルド）がないもとでは、政策金利とインフレ予想の差は実質金利に一致すると述べ、政策金利をインフレ率の変動以上に変化させるフィードバック・ルール（いわゆるテイラー・ルール）によってインフレ率が決定されると説明した。伝統的な金融政策の有効性は民間経済主体の予想にも依存するため、自然利子率等の経済状態の把握に加えて、政策運営の透明性と明瞭なコミュニケーションが中央銀行に求められると指摘した。

次に、政策金利には下限制約が存在するため、経済に負の影響を与える大きなショックが生じると、経済はデフレ均衡に陥る可能性があり、非伝統的金融政策はこれを回避する手段として展開されてきた、と指摘した。もっとも、フォワード・ガイダンスは、中央銀行のコミットメントが経済主体から信認されない限り機能しないと指摘した。シンプルなモデルでは、QE は、コンビニエンス・イールドへの影響を通じて作用するが、実際には、大量の債券を購入しなければインフレ率に影響を及ぼすことができないといった問題点が存在すると述べた。これらの理由から、デフレ均衡に陥るような特定の状況を除けば、非伝統的金融政策は有効性が小さく、伝統的な政策を代替しえないと主張した。

最後に、インフレ目標の達成に加えて、流動性供給と通貨発行益の観点から、準備預金に係る政策について論じた。中央銀行は、準備預金に付利することによって、政策金利と準備預金量を別々に操作できるため、政策金利の操作によってインフレ目標を達成しつつ、準備預金量をコントロールすることで望ましい流動性供給が可能になると主張した。さらに、銀行の異質性や寡占、準備預金への付利による中央銀行の減収に係る問題ついては、準備預金の階層構造を導入することで対応可能であると述べた。

討論者の**服部正純**（一橋大学）は、日本銀行の政策手段が伝統的金融政策から非伝統的金融政策へと変遷した過程を概観したうえで、非伝統的金融政策が経済に波及するメカニズムは、資金調達コストの引下げやインフレ予想の引上げと、それに伴う実質金利の低下が想定されていたと説明した。加えて、こうした政策効果の波及メカニズムにおける銀行部門の重要性を指摘した。**ライス**は、銀行部門の重要性に同意したうえで、準備預金への付利金利の変更によって、銀行が設定する貸出金利や預金金利等が比例的に変化することが、金融政策の波及メカニズムにとって重要であると返答した。

フロアからは、**ブルネルマイヤー**が、外生的なショックのタイミングに関する本研究の仮定は、結果にどう影響するのか、また、本研究では、流動性をコンビニエンス・イールドの観点から捉えているが、流動性にはそれ以外の便益もありうるのではないか、と質問した。**ライス**は、仮定自体は結果に大きな影響は与えないと答えたほか、流動性の解釈については、インフレ率のコントロールという観点ではコンビニエンス・イールドに基づく整理で十分であると主張した。**ジョルダン**は、民

間金融機関が資金不足に陥る等、流動性確保のために準備預金の需要が高まる場合は、準備預金への付利を通じた政策効果は変わりうるのではないか、と指摘した。これに対し、**ライス**は、準備預金の量と金利を別個に操作することで、そうした問題を回避できると返答した。**エバンス**は、政策金利が下限制約に直面しない限り、QE を実施するメリットは無いことが、ライスの発表から示唆されるとコメントし、**ライス**もこれに同意した。**グランシャ**は、中央銀行が政策手段として通貨発行益を生みだすことは、政府への支払いを保証している点で、金融政策ではなく財政政策と表現するのが適切ではないかと指摘した。また、中央銀行デジタル通貨（Central Bank Digital Currency: CBDC）のように、中央銀行が民間向けの準備預金を直接提供するようになると、市中銀行の存在意義はどこに見出せるだろうか、と問うた。**ライス**は、一義的には財政政策と表現することも可能だと同意したうえで、本研究の文脈においては、中央銀行の収益最大化ではなく、効率的な流動性供給に焦点を当てているため、財政政策とまでは呼べないと返答した。また、中央銀行が、CBDC といった一般向け中央銀行負債に、銀行預金金利や準備預金金利と異なる金利を設定することは可能であろうと述べた。

カルロス・ガリガ（セントルイス連邦準備銀行）は、QE が持つ金融環境緩和効果について、本研究から得られる示唆を問うた。**ライス**は、QE は金融環境も緩和することによって実体経済に異なる影響をもたらしうるが、その影響度合いを精緻にコントロールすることはできないため、インフレ目標を達成するための政策手段としては伝統的な金融政策手段に劣ると指摘した。**レーン**は、日本ではさまざまな非伝統的金融政策を講じたにもかかわらず、インフレ率の押上げ効果が限定的であった背景には、各経済主体が新たな非伝統的金融政策手段の導入を、意味ある変化だと認識していなかったことが影響していたのではないか、と指摘した。**ライス**は、インフレ予想を精緻に誘導することはそもそも困難だが、相対的にみれば、非伝統的金融政策よりも伝統的な金融政策を用いてインフレ予想をアンカーする方が困難ではないだろう、と返答した。

7. 政策パネル討論①

政策パネル討論①では、オルファニデスが座長を務め、エバンス、グランシャ、レーン、レモロナ、ヴァスレの 5 名のパネリストが、「物価変動」をテーマに議論を行った。

(1) 座長およびパネリストによる発言

オルファニデスは、インフレ動学に関するわれわれの理解は不十分であり、多くの中央銀行が利用する標準的なインフレの予測モデルで中心的役割を果たすフィリップス曲線は、うまく機能しなかったと指摘した。そのうえで、今後目指すべき方向性についてパネリストに問うた。

エバンスは、自身のシカゴ連邦準備銀行総裁在任期間（2007年9月～2023年1月）のインフレ実績を振り返り、パンデミックより前の大部分の期間においてインフレ率が物価目標の2%に届かなかったものの、パンデミック以降のインフレ高進により2007年以降の平均インフレ率が2%程度になったことを示した。もっとも、インフレ目標政策下では、過去のインフレ率下振れは、埋合せ不要な過去のこと（bygones are bygones）であり、物価高や相対価格の大きな変動に対して家計や企業が強い不満を抱くと確認されたことが教訓と考えている、と述べた。次に、インフレ高進期に、各中央銀行が引締め的な政策スタンスに転換するのが遅れた点に触れたうえで、元Fedの研究者による反実仮想シミュレーションの結果を紹介した。具体的には、仮にFedによる利上げ開始が2022年ではなく2021年だった場合、インフレ率が2%まで低下するスピードが多少速まるものの、インフレ率のピークの値は変わらなかったであろう、と指摘した。

レーンは、パンデミックを受けた供給ショックやウクライナ情勢を受けたエネルギー価格等の高騰が、ユーロ圏におけるインフレ高進の主因となった一方、この間の賃金インフレは緩やかであり、インフレ圧力の低減に寄与したと評価した。足もとでは、エネルギー価格上昇に代わる形で、これまでの高インフレや強めの労働需要を反映した賃金上昇がインフレの主因となりつつあるものの、インフレ予想はアンカーされていると述べた。今後のインフレ動向を理解するうえでは、移民の動向等を含む労働市場における構造変化に関する分析を深める必要があることを強調した。最後に、インフレ率はECBの中期目標に近づいているが、引き続き、政策パスに予断を持たず、会合ごとにデータを点検しつつ政策運営を進めていくと述べた。

レモロナは、フィリピンにおけるパンデミック以降のインフレ動向を振り返り、政策対応がビハインド・ザ・カーブに陥っていたと述べた。そのうえで、当初は供給ショックを静観しても問題ないと考えていたが、その後の分析から、供給ショックはインフレ予想への影響を通じて二次的波及効果をもたらしていたことがわかったと述べた。特に、足もとでは、フィリピンにおける重要な財であるコメの価格上昇が、実績インフレ率のみならず、家計のインフレ予想にも大きな影響を与えているというサーベイ結果を紹介した。また、コメと原油の価格ショックに対するインフレ予想の反応について、負の価格ショックよりも正の価格ショックに対する反応の方が大きい、という非対称性が存在することを示す分析結果を紹介したうえで、

この非対称性が、二次的波及効果が持続的に生じている要因だろう、と述べた。

ヴァスレは、ユーロ圏では、供給ショックが減衰する中で ECB が強力な利上げ政策をとったことから、インフレは沈静化に向かっていると指摘した。ユーロ圏と米国の相違点として、供給面では、ロシアとの地理的近接性やエネルギー依存度の高さから、ユーロ圏の方がエネルギー価格高騰の影響をより強く受けたこと、需要面では、パンデミック後の需要回復ペースが米国に比べて比較的緩やかだったことを指摘した。そのうえで、先行きのインフレ動向をみていくうえでの懸念点として、①ユーロ圏を構成する 20 ヵ国それぞれにおける労働市場の動向や賃金形成メカニズムに相応の異質性があること、②サービス価格の動向と賃金、企業の利益率との関係について不確実性が大きいこと、③ ECB の引締め的な金融政策対比、各国の財政政策の引締めが遅れていること、④米国とユーロ圏の金融政策スタンスが異なり始めたことを挙げた。

グランシャは、パンデミック以降の主要先進国・新興国のヘッドライン・インフレ率について、ピークまでの上昇要因とその後の下落要因に関して、①エネルギー等の価格ショックが直接寄与するヘッドライン・ショックと、②経済のスラックやパススルーを通じたコアインフレ率への影響に分けて要因分解を行った分析を紹介した。具体的には、多くの主要国において、インフレ変動の大部分は、エネルギーや食料品の価格ショックと、それらがコアインフレ率に及ぼすパススルーで説明できる一方、労働市場のスラック要因がインフレ率押上げに与えた影響は限定的であるとの結果を紹介した。次に、エネルギー価格の変動がコアインフレにパススルーする度合いが、国ごとに大きく異なるという結果を示したうえで、エネルギー価格の動向とともに、エネルギー価格のコアインフレへの波及度合を規定する個別の要因も重要であると指摘した。また、今次局面の経験から、インフレ予想がアンカーされていたことの重要性を指摘したほか、多くの主要国が同時に進めた金融政策の引締めが、需要の抑制を通じて、エネルギー価格・インフレ率高騰の早期鎮静化に役立った可能性があると述べた。

(2) パネリストやフロア参加者での討議

オルファニデスは、スラック要因がインフレ率に与えた影響が小さいというグランシャの分析結果に触れつつ、フィリップス曲線に基づいたインフレ予測の難しさを改めて指摘した。そのうえで、ここ数年間の経験から、インフレ動学に関して、どのような教訓が得られたかと問いかけた。また、インフレ予想のアンカーが外れる兆候がみられたことが、2022 年以降の急速な利上げの一因となった可能性に言及したうえで、インフレ予想とそのアンカーの役割について、パネリストの見方を

問うた。

エバンスは、フィリップス曲線の説明力が低下したのは、さまざまな供給ショックが重なり合った結果であり、スラック要因は引き続き重要だと主張した。また、今次局面のような標準的ではない状況で、一時的な供給ショックは静観するという標準的な対応をとってしまったことが教訓だと述べた。もっとも、利上げ開始後のFed の行動が迅速だったこともあり、重要性の高い長期のインフレ予想は安定していたと述べた。**レーン**は、グランシャの分析に触れ、エネルギー価格がコアインフレにパススルーする度合いとインフレ予想のアンカー度合いに関係があるかを問うた。また、ウクライナ情勢を受け 2022 年前半の欧州は極めて不確実性が大きい状況であったため様子をみる必要があったが、その後の利上げは迅速であり、インフレ予想のアンカーが維持されたと評価した。**レモロナ**は、この間の金融政策運営を難しくした要素として、インフレ予想のアンカー度合いや需給ギャップ、中立金利の計測が困難であったことを挙げた。**ヴァスレ**は、過去にも今次局面と同程度の高インフレ期があったとしたうえで、ECB が長年培ってきた信認と強力な政策対応によりインフレ予想のアンカーが維持されたと回答した。

オルファニデスは、コアインフレへのパススルー効果を組み入れることが、インフレ予想モデルを改善するための教訓となりうるか、グランシャに問うた。**グランシャ**は、標準的なフィリップス曲線の枠組みは十分有用であるとしたうえで、中央銀行が、経済の過熱や相対価格の大きな変動を見過ごした場合に、コアインフレに非常に大きな影響が及ぶことが明らかになってきたと述べた。また、多くの国において、エネルギー価格上昇を抑制するために価格上限等の政策を導入したことが、コアインフレへのパススルーを抑え、ヘッドライン・インフレ率の上昇抑制につながったことは興味深いと述べた。インフレ動学については、これまで考えられていたよりも、短期のインフレ予想が実際のインフレに大きな影響を及ぼすとの分析結果が得られたと述べ、今次局面では、一時的にインフレ予想のアンカーが外れかけたものの、中央銀行はアンカーを取り戻すという成功を収めたと評価した。

続いて、**オルファニデス**は、過去 4 年間の経験によって得られた金融政策運営に関する教訓について意見を求めた。**エバンス**は、実体経済やインフレが正しい軌道に乗っていない場合は、積極的な政策対応を取ることが重要だと述べた。**レーン**は、先進国のみならず途上国においても中央銀行が独立性を確保し、インフレ目標に関する信認を得ていたことが、今次局面においてスタグフレーションに陥らなかった要因の 1 つだと述べた。**レモロナ**は、仮にインフレ予想がどの程度アンカリングされているのかを計測できるならば、それを政策ルールに内包することを通じて、体系的な政策運営が可能となるだろうと指摘した。具体的には、インフレ予想のアンカーが外れるリスクが高まった場合に、中央銀行がインフレ率に強く対応すること等が想定されると述べた。**ヴァスレ**は、これまで非伝統的だった政策手段

が、伝統的な政策手段となりうることを指摘した。**グランシャ**は、今次局面では、大きな景気後退を伴わずに高インフレが沈静化に向かったが、持続的なインフレ圧力と景気後退が同時発生するような厳しい環境において、現行の政策枠組みが、今回と同様に機能しうるかはまだ検証されていないと主張した。

フロア質疑では、**テイラー**は、各中央銀行がビハインド・ザ・カーブに陥っていたかどうかを検証するための議論と分析が必要だと述べた。**ジョルダン**は、供給ショックに対する中央銀行の適切な政策対応について、グランシャの分析から得られる示唆を問うた。また、ユーロ圏において、2021 年時点では、インフレ予想はアンカーされていたため、利上げは不要だという議論が支配的だったものの、その後、大幅な利上げが行われた点をどのように理解すべきかと尋ねた。**シュナーベル**は、世界的にサービス価格のインフレが長引いていることについての見解を求めた。また、人々によるこれまでのインフレ経験がインフレ予想に影響を及ぼすという研究結果に言及したうえで、今回のインフレ経験は、新たなショックに対してインフレ予想をより不安定にさせることを通じて、将来的に政策運営を難しくさせるのではないかと質問した。

レーンは、テイラーの発言に関連して、今次局面における ECB の政策運営から得られた教訓として、金融引締めを進める順序についてのフォワード・ガイダンスの存在が、政策運営の自由度を低下させた可能性を指摘した。**レモロナ**は、確かに中央銀行はビハインド・ザ・カーブに陥っていたと回答し、75bps の大幅利上げを行わざるをえなかったことがその証左だと述べた。**グランシャ**は、まず、フォワード・ガイダンスは再考を要すること、持続的な供給ショックを無視してはならないことが今回得られた教訓だと述べた。シュナーベルの 1 つ目の質問について、サービスと財の相対価格は 2019 年以前のトレンドに戻ってきていることから、サービス価格のインフレが今後落ち着いていくことに、それなりに自信を持っていると回答した。また、シュナーベルの 2 つ目の質問に関連して、今回のインフレ局面において、中央銀行はこれまで積み重ねてきた信認という資本を消費してしまったため、今後、供給ショックに起因するインフレ局面がおとずれた際に、政策対応能力が低下している可能性があると指摘した。**ヴァスレ**は、後から振り返ればビハインド・ザ・カーブだったことは明確であるとしつつも、当時の行動の適切性を評価する際には、深刻なショックが立て続けに発生したという特殊な状況だった点を考慮する必要がある、と述べた。そのうえで、短期インフレ予想の不安定化が、ECB が政策対応を進める一因になったと述べた。**エバンス**は、金融政策に関するシナリオ分析は多く行われており、中央銀行がビハインド・ザ・カーブに陥っていたかどうかについては、十分に信用できる結論が得られていると発言した。評価するのが一段と難しいのは、（リバース・レポ金利ベースで）5.3％の金利水準において、利上げを停止したのが時期尚早だったのではないかという問いだと指摘したうえで、個

人的には、利上げの停止は時期尚早だったとは思わないと述べた。

ブルネルマイヤーは、市場参加者は政策当局の意図する以上に楽観的かつ緩和的な予想をたてるおそれがあるとの懸念を示したほか、在宅勤務を含む働き方の変化がインフレ動学にどのような示唆があるのかを尋ねた。**コクラン**は、2%の物価目標を大きく上回るインフレが世界中で発生した事実を強調したうえで、中央銀行が一体何を間違ったかについて体系的な検証が行われていないのは不思議だと述べた。**氷見野**は、エバンスの発表におけるシミュレーション結果について、政策対応が大きく異なるにもかかわらず結果が似通っている点を、どう解釈すべきか問うた。**エバンス**は、氷見野の質問に対し、モデルを用いた反実仮想シミュレーションには、その仮定や得られた結果にさまざまな解釈が存在すると同意した。また、Fed 内部でもこうした反実仮想シミュレーションは随時行っており、今回のコロナ禍を経た知見の蓄積に努めているだろうとコメントした。**ガリガ**は、変動金利の住宅ローン契約が多い経済では、利上げにより債務者負担が大きくなることを、政策運営においてどのように考慮しているかと問うた。

レモロナは、コクランの指摘に賛意を示し、中央銀行は政策の事後点検を一段と行うべきと考えていると答えた。**レーン**は、市場参加者の予想形成に関するブルネルマイヤーの質問について、政策委員会の決定事項について、明確かつ一貫したコミュニケーションを行っていくことが重要だと考えていると回答した。労働市場の変化については、まだ具体的な答えは持っていないと断りつつも、労働時間が労働参加率ほどには伸びていないことが最近の特徴だと述べた。また、関連する事例として、フィンランドでは在宅勤務が広がる中で、金曜日が「長い週末」の一部になっていることや、ドイツでは労働組合が賃上げよりも労働時間の削減を求めていることを紹介した。また、固定金利ローンと変動金利ローンの存在は、金融政策の波及効果を複雑にする要因として十分に意識していると答えた。**ヴァスレ**も、労働市場の構造変化の分析に大きなリソースを割いているほか、ユーロ圏の各国間で住宅ローンの契約慣行が大きく異なる点が、金融政策運営をより複雑なものにしていると回答した。**エバンス**は、今次局面のように財とサービスの相対価格が大きく変化する中で 2%のインフレ目標を目指すためには、景気後退を引き起こす必要があると指摘したうえで、景気後退によるダメージを抑えつつ、インフレ予想が恒久的に変化してしまわないようにすることが、今次局面では最も重要だったと振り返った。**グランシャ**は、中央銀行等が用いる予測モデルの多くは、小さなショックへの反応を捉えることに適した線形モデルであり、今回のような大きなショックのもとでの予測には、より精度が高い非線形なモデルが必要となると述べた。**レーン**は、経済学の進展によってマクロ経済の動向をより深く理解できるようになっても、不確実性が大きい状況においては、引き続き人間による個別判断が必要だと発言した。

オルファニデスは、中央銀行が定期的な政策レビューに対して前向きになっていることは非常に歓迎すべきことであるほか、近年の経験は金融政策の枠組みや政策運営を改善する有益な機会を提供していると述べ、パネル討論を締めくくった。

8. 政策パネル討論②

政策パネル討論②では、ブルネルマイヤーが座長を務め、ボウマン、ジョルダン、メスター、シュナーベル、氷見野の 5 名のパネリストが、伝統的・非伝統的金融政策について議論を行った。

(1) 座長およびパネリストによる発言

ブルネルマイヤーは、最初に、本パネル討論のテーマ「伝統的・非伝統的金融政策の効果」を紹介し、特に、フォワード・ガイダンス、コミュニケーション、資産買入れ、QE、為替介入等について、各パネリストの見解の披露とフロアを含む活発な議論が期待されると述べて、各パネリストの発言へと進行を進めた。

メスターは、フォワード・ガイダンスとコミュニケーションについて議論した。政策金利が ELB まで低下した環境において、政策金利に関する将来の政策パスを示すフォワード・ガイダンスは、長期金利に対する働きかけを通じて、有効性を持ちうると説明したうえで、有用な政策ツールであると評価した。もっとも、フォワード・ガイダンスを用いる際に生じる難しさも存在すると述べ、2 つの切り口から説明した。1 つ目はコミットメントに関するコミュニケーションであり、フォワード・ガイダンスの有効性は将来の政策パスに対するコミットメントの強度に依存するため、政策当局者は、しばしば時間的不整合性の問題に直面する、と指摘した。2 つ目は政策反応関数に関するコミュニケーションだと述べ、フォワード・ガイダンスは通常の行動からの一時的な乖離を約束する政策であるため、実際問題として一般の人々の理解を得ることは難しい、と認めた。これらの課題に対して、「自身の言葉を用いること」と「ドット・チャートと結びつけること」という 2 つの提案をした。前者については、短く、簡潔なコミュニケーションに傾倒しすぎるのではなく、自分の言葉で語り、ナラティブをコントロールすることが重要だ、と指摘した。後者について、経済予想サマリー（Summary of Economic Projection: SEP）において、連邦公開市場委員会（Federal Open Market Committee: FOMC）参加者の FF 金利見通し（dots）と経済見通しを別個に扱うのではなく、両者を結び付けることで、人々が反応関数を理解しやすくなるのではないか、と提案した。

ボウマンは、非伝統的金融政策手段としての中央銀行のバランスシート政策に焦点をあてた[10]。まず、GFC 後の Fed による QE（Large Scale Asset Purchases: LSAP）は、ターム・プレミアムの縮小等を通じて、長期金利の引下げに寄与した、と評価した。また、QE が実施された期間中に失業率は低下し、インフレ率は 2%近辺で推移しており、これらは金融危機後の QE が成功した証左だったと解釈できる、と主張した。次に、新型コロナウイルス感染症が拡大するもとでのバランスシート政策について、言及した。金融市場の機能回復、金融システムの安定化、金融緩和効果を企図し、FOMC は 2020 年 3 月に大規模資産買入を実施することを決定したが、資産買入れペースは、これまでの QE と比べてはるかに速かった、と述べた。もっとも、GFC と比べて、住宅市場が底堅かった点をかんがみると、2021 年後半にかけて、エージェンシー MBS（Mortgage Backed Securities）をこれほどまでに大量に買い入れるべきだったのか、と述べた。さらに、家計や企業への大規模な財政支援を踏まえると、米国債をここまで大規模、かつ長期間にわたって買い入れる必要があったのか、という疑問が残ると述べた。すなわち、QE の効果は経済・金融システムの状況によって変化しうるため、QE の利用にあたっては「過少（doing too little）」と「過大（doing too much）」のバランスを、各局面において比較衡量することが重要だ、と指摘した。

シュナーベルは、金融市場が混乱しているときには、資産買入れは強力な政策手段となりうるが、それ以外の場合は、資産買入れのベネフィットがコストを上回るかどうかを慎重に見極める必要がある、と主張した[11]。また、QE の波及メカニズムとして、①シグナリング・チャネル、②流動性供給チャネル、③ポートフォリオ・リバランス・チャネルの 3 つが存在する、と述べた。そのうえで、今回のインフレ急騰に対して各国の中央銀行が政策対応を行わざるをえなかったように、政策当局者は、ギリシャ神話のオデュッセウス（Odysseus）に倣って、自らを船のマストへ縛り付けることはできないため、シグナリング・チャネルは希薄化している可能性がある、と指摘した。また、中央銀行は、将来の金融政策の方向性について、デルフィック（Delphic）な方法、すなわち先行きの経済動向に条件付ける方法でのみ、信頼に足りるコミュニケーションができる、と付言した。流動性供給チャネルについては、過去 15 年の経験上、その効果が強力だったことが示唆されており、特に新型コロナウイルス感染症が拡大した際や、米国における「現金への逃避（dash for cash）」が生じた際に、金融市場の安定に大きく寄与した、と述べた。最後に、QE のポートフォリオ・リバランス・チャネルは、ELB 近傍における総需要刺激効果の中核である、と指摘した。しかしながら、GFC 以降のエビデンスは、QE が金利、経済活動、物価に与える影響には状態依存性があり、バランスシート制約や裁定取

10 詳細は、Bowman [2024] を参照。
11 詳細は、Schnabel [2024] を参照。

引に対する制約があまり深刻でない平時には、その効果はより小さくなることを示唆している、と補足した（詳細は、Schnabel [2024] を参照）。さらに、資産買入れには副作用が伴い、それは、伝統的金融政策のそれよりも大きい可能性がある、と論じた。

ジョルダンは、スイス国立銀行（SNB）が物価安定のために実施した非伝統的金融政策である、為替介入とマイナス金利政策の経験を紹介した。スイス・フランは安全通貨（safe haven currency）とみなされているほか、他法域の利下げに伴う内外金利差の縮小により、金融危機後に、スイスに大量の資金が流入し、スイス・フランが増価したと述べた。また、スイス経済は為替相場に強く連動するもとで、こうしたスイス・フランの過大評価は、金融環境を大幅にタイト化させた、と述べた。その際、QE は実行可能な選択肢として検討されず、代わりに、SNB は為替介入とマイナス金利の採用を決めた、と説明した。一連の政策対応はスイス経済をデフレから守ったと述べつつも、バランスシートの急拡大、マイナス金利が金融機関に与える影響、不動産価格を中心とする資産価格へのインパクト、といった負の副作用が存在すると指摘した。非伝統的政策は有益であるが副作用も存在することを強調し、非伝統的な政策の有用性を判断する際には費用便益分析が重要である、と指摘した。

氷見野は、非伝統的な手段を最も広範かつ長期にわたって採用してきた日本銀行の経験を紹介した。フォワード・ガイダンスは、カレンダーよりも経済状況、また、おそらくは実績よりも予測に基づく方が望ましい、と指摘した。また、金融市場がストレスにさらされているときに、QE はより大きな効果を発揮する傾向があることや、マイナス金利政策の波及効果は銀行業界の競争構造に大きく依存するとの見解を述べた。さらに、YCC を停止する際に混乱を招くのではないかという声はあったものの、少なくとも特定の状況下では、YCC から通常の QE に、シームレスに移行できることを日本の経験は示唆している、と述べた。多くの中央銀行における標準的なツールとして、非伝統的政策の一部は既に採用されているが、非伝統的政策を、緊急時だけでなく長期にわたって使用することは適切なのか、との問題意識を投げかけた。加えて、非伝統的金融政策は、不動産価格等の資産価格、株価、為替への影響も主要な経路としているが、非伝統的金融政策が果たした役割を分析する際に、資産市場を特定の方向に動かすことが持つ含意をどのように組み込むべきなのか、との問題を提起した。

(2) パネリストやフロア参加者での討議

ブルネルマイヤーは、非伝統的金融政策が長期間に及んだ際の副作用と、将来、

非伝統的金融政策を再度実施する場合、出口戦略も同時に策定すべきかどうかを、パネリストに尋ねた。あわせて、中央銀行のバランスシートの将来的な規模について、どのような指針を示すべきか、を質問した。

メスターは、非伝統的金融政策を始める際に出口戦略、あるいは、少なくとも出口の基準と時期についての考えを持つことは、有用だと述べ、中央銀行を律するよい方法にもなる、と指摘した。さらに、将来的に QE を再び実施する可能性に備えて、バランスシートの最適な満期構成も検討した方がよい、と言及した。**ボウマン**は、メスターの意見に賛同したうえで、バランスシートのサイズを可能な限り小さくしておくことが重要だと付言した。また、資産買入れを実施する際には、深刻な経済危機への対応なのか、特定の市場におけるボラティリティの高まりへの対応なのかを峻別する必要がある、と述べた。**シュナーベル**は、上記の出口戦略の必要性に関する議論に同意した。また、QE の持続性について、ECB が採用した TLTRO（Targeted Longer-Term Refinancing Operations）であれば、民間銀行が借入を返済することで自動的に規模が縮小するため、バランスシート縮小に長い時間を要するという QE 特有の副作用もなく、金融環境を効果的に緩和することができる、と述べた。また、最終的なバランスシートの規模については、その後の金融調節の枠組みに依存すると説明した。バランスシート縮小にあたって、① QE に伴って採用された「供給主導型フロア・システム（supply-driven floor system）」を維持するか、あるいは、②定期的な資金供給オペを通じて、追加の準備預金が要求に応じて供給される「需要主導型システム（demand-driven system）」と、③ GFC 前の「コリドー・システム」のどちらかにシフトするのか選ぶ必要があると言及し、ECB は、短期金融市場の混乱を避けつつ、規模を縮小できる需要主導型を選択した、と述べた。また、**シュナーベル**は、非伝統的政策の副作用の多くは、長い時間が経過した後にのみ顕在化する可能性があるため、短期的な視点ではなく、長い目でみたときの費用対効果を分析すべきだ、と指摘した。

ジョルダンは、まず、為替介入は、必要な場合のみに限って実施するべきであり、マイナス金利は、必要だと思われる間は、なるべく長期間続けるべきだと指摘した。また、非伝統的金融政策を導入してすぐに、出口を明確化することは非常に難しい、と評価した。加えて、SNB がバランスシート縮小を試みてきた際に、金融環境への影響を最小限にすることも目指してきたと述べた。**ジョルダン**は、費用対効果分析が重要であるというシュナーベルの発言に同意しつつも、危機時にそれを行うことは難しいかもしれないと付言した。**氷見野**は、インフレ予想がアンカーされている他法域とは異なり、日本ではインフレ予想を 2%にアンカーしていく必要があるため、出口を迎えるにあたって、日本銀行は他法域よりも忍耐強くなる必要があるだろう、と指摘した。また、現在のバランスシートの規模にかんがみれば、最終的なバランスシートの規模を熟考する時間が十分にある、と述べた。

フロア質疑では、**コクラン**は、他法域と比べてこれほど大規模な QE を行ってきた日本において、インフレへの押上げ効果が限定的であったことから、QE の便益と費用はともに小さかったと解釈できるのか、また、特に米国において、柔軟な平均インフレ目標によって低金利の継続が長引いたのか、それとも同目標から示唆される低金利継続のコミットメントが破られたのかどちらだろうか、と尋ねた。これに対し、**氷見野**は、QE のコストについて、日本銀行が国債の流通市場（secondary market）の主要参加者になったことに伴い、実体経済や金融環境に基づいたプライシングがされにくくなったという文脈において、価格発見機能が低下した点等を指摘した。**メスター**は、正しいタイミングで正しい政策を行うことの不確実性は非常に大きく、場合によってはフォワード・ガイダンスに反し、時間的な整合性を放棄する場合もあるかもしれない、とコメントした。**シュナーベル**は、ECB は柔軟な平均インフレ目標を採用していないものの、フォワード・ガイダンスは確かに政策の自由度を制限した、と答えた。

ライスは、シュナーベルが紹介した貸付制度（lending facilities）の非伝統的政策としての役割と、バランスシート縮小時に準備預金需要が大きく変動するという問題への対処方法について質問した。これに対して、**シュナーベル**は、日々の局所的な流動性ショックを吸収できるように、銀行間取引の市場機能を復活させることができれば、バランスシートが大きく変動することをそれほど心配する必要はない、と答えた。**ボウマン**は、レポ・レートが上昇する等、市場のボラティリティの増大に対して、潤沢な準備預金残高を確保するため、2019 年 10 月にバランスシートを再拡大したことを紹介した。もっとも、このような政策は、必要不可欠な場合にのみ行われるべきだ、と付言した。

レモロナは、フォワード・ガイダンスは標準的なツールになりつつある中、非伝統的金融政策とフォワード・ガイダンスを明確に区別するべきなのか、と質問した。**ジョルダン**は、フォワード・ガイダンスの正確な定義は存在しないほか、相応に広範な概念であり、例えば、伝達メカニズムや反応関数の説明も含まれうると述べ、それ故に、明確に区別は難しいと答えた。**オルファニデス**は、実績インフレ率と予想インフレ率に左右されるため、裁量が伴うことは認めつつも、なぜ出口戦略に関する指針を提供できないのだろうか、と疑問を呈した。**ジョルダン**は、非伝統的政策の出口を早い段階で伝えることをためらうのは、出口がまだ遠い先である中、意図を誤認識されるリスクが相対的に高いからだと返答した。**ボウマン**は、ジョルダンの意見に賛意を示した。

内田は、QE と量的引締め（Quantitative Tightening: QT）の効果は非対称、すなわち中央銀行が金融緩和を企図して国債を買い入れることに伴うアナウンスメント効果によって、QE の効果はより大きくなるとの見方もありうると述べ、欧州において、QT が QE と比べて同様のストック効果がみられるとの分析結果の背景につい

て尋ねた。**シュナーベル**は、QT 時にも中央銀行のコミュニケーションによるアナウンスメント効果があるため、QE と QT のストック効果は概ね対称的とも解釈できるが、QT はより段階的に実施されるため、その効果は相対的に弱い可能性がある、と応じた。

ペセンティは、メスターが提示した政策反応関数を巡るコミュニケーションについて、コンセンサス・フォーキャストのような手法を採用することで、コミュニケーション方法を改善できるのではないか、と質問した。**メスター**は、それも一案であると同意しつつも、SEP の形式でも改善できる余地はあり、例えば、中心的な見通し（median of projection）に信頼区間（confidence bands）を表示するといった工夫をしてきた、と述べた。**シュナーベル**は、効果的なコミュニケーションのためには、現実的なシナリオに基づいた見通しを 1 つだけ提示するのではなく、いくつかの想定をもとにした複数の見通しを示した方がよいのではないか、とコメントした。一方、**ジョルダン**は、スイスでは金融政策の射程に為替相場が含まれていると述べたうえで、多様なコミュニケーションは為替介入の有効性に悪影響を与えてしまうため、他の中央銀行とは異なり、SNB は均質なコミュニケーションを行うことを心がけている、とコメントした。**氷見野**はコミュニケーションについて付言し、さまざまな経済主体に対して、話すことも聞くことも等しく重要であり、こうした双方向のやり取りが、中央銀行の政策に対する人々の信頼感の醸成につながっていくと指摘した。

テイラーは、金融政策ルールを列挙した表に標準的なテイラー・ルール以外の複数のルールが示されていることがあると述べ、そうした表を用いるコミュニケーション上の意図について尋ねた。**メスター**は、コミュニケーションのためのベンチマークとして、複数の政策ルールを例示することがあるが、FOMC が特定のルールを選択することはないだろう、と回答した。**ボウマン**は、雇用の増加やインフレ率等の統計が当初の速報値から最終的に上方修正され、時には大幅に修正されることがあるため、このようなデータを政策ルールや経済モデルに単純かつリアルタイムにあてはめることは難しかった、と述べたうえで、政策判断を行ううえでの膨大な情報の 1 つに、複数の政策ルールから導かれる示唆も含まれており、ルールを全く無視していたわけではない、と説明した。

岩田は、QT と利上げの間に望ましい順序はあるのか、と尋ねたほか、QT はあらかじめ決められた減額を自動的（autopilot）に実施することと、短期金融市場の反応をみながら、そのペースを柔軟に調整することのどちらが望ましいのか、と問うた。**ジョルダン**は、状況によって優先順位が異なりうるため、すべての環境において望ましい一般的なルールを作るのは難しいのではないか、との見方を示した。**氷見野**は、QT と利上げの順序に関して、昨年の国際コンファランスにおいてオルファニデスが講演したように、順序を予め特定してしまうと、結果としてビハイン

ド・ザ・カーブに陥るリスクを高めかねないため、それは望ましくないのではないかと述べた。

参考文献

植田和男、「開会挨拶」、『金融研究』 第 43 巻第 4 号、日本銀行金融研究所、2024 年、37～46 頁（本号所収）

内田眞一、「基調講演『わが国における過去 25 年間の物価変動』」、『金融研究』 第 43 巻第 4 号、日本銀行金融研究所、2024 年、47～68 頁（本号所収）

Barro, Robert J., and Francesco Bianchi, "Fiscal Influences on Inflation in OECD Countries, 2020–2022," NBER Working Paper 31838, National Bureau of Economic Research, 2023.

Bowman, Michelle W., "The Federal Reserve's Balance Sheet as a Monetary Policy Tool: Past Lessons and Future Considerations," Board of Governors of the Federal Reserve System, 2024 (available at https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/bowman20240528a.htm、2024 年 8 月 1 日).

Castillo-Martinez, Laura, and Ricardo Reis, "How Do Central Banks Control Inflation? A Guide for the Perplexed," Working Papers, 2024 (available at https://personal.lse.ac.uk/reisr/papers/99-perplexed.pdf、2024 年 9 月 2 日).

Cochrane, John H., "Inflation, Monetary and Fiscal Policy, and Japan," 2024 (available at https://static1.squarespace.com/static/5e6033a4ea02d801f37e15bb/t/66569f55f2d87d49bac00e1c/1716952924243/Japan_inflation.pdf、2024 年 9 月 2 日).

Furukawa, Kakuho, Yoshihiko Hogen, Kazuki Otaka, and Nao Sudo, "On the Zero-Inflation Norm of Japanese Firms," unpublished manuscript, Bank of Japan, 2024.

Ikeda, Daisuke, Shangshang Li, Sophocles Mavroeidis, and Francesco Zanetti, "Testing the Effectiveness of Unconventional Monetary Policy in Japan and the United States," *American Economic Journal: Macroeconomics*, 16(2), 2024, pp. 250–286.

Schnabel, Isabel, "The Benefits and Costs of Asset Purchases," European Central Bank, 2024 (available at https://www.ecb.europa.eu//press/key/date/2024/html/ecb.sp240528~a4f151497d.en.html、2024 年 8 月 1 日).

Sunakawa, Takeki, "Fiscal Inflation in Japan: The Role of Unfunded Fiscal Shocks," unpublished manuscript, 2024.

Taylor, John B., "The Mayekawa Lecture: The Way Back to Stability and Growth in the Global Economy," *Monetary and Economic Studies*, 26, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, 2008, pp. 37–48.

Taylor, John B., "The Mayekawa Lecture: The Way to Stability and Growth in the World Economy," *Monetary and Economic Studies*, 42, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, 2024 (forthcoming).

参考１：プログラム

Monday, May 27, 2024

Opening Remarks
Speaker: **Kazuo Ueda**, Bank of Japan

Mayekawa Lecture: The Way to Stability and Growth in the World Economy
Chairperson: **Peter Kažimír**, Národná banka Slovenska
Lecturer: **John B. Taylor**, Stanford University

Theme A: Price Dynamics

Keynote Speech I: Price Dynamics in Japan over the Past 25 Years
Chairperson: **Shin-ichi Fukuda**, The University of Tokyo
Speaker: **Shinichi Uchida**, Bank of Japan

Session 1: Inflation, Monetary and Fiscal Policy, and Japan
Chairperson: **Shin-ichi Fukuda**, The University of Tokyo
Paper Presenter: **John H. Cochrane**, Stanford University
Discussant: **Nao Sudo**, Bank of Japan

Session 2: On the Zero-Inflation Norm of Japanese Firms
Chairperson: **Shin-ichi Fukuda**, The University of Tokyo
Paper Presenter: **Yoshihiko Hogen**, Bank of Japan
Discussant: **Paolo Pesenti**, Federal Reserve Bank of New York

Policy Panel Discussion I
Moderator: **Athanasios Orphanides**, Massachusetts Institute of Technology
Panelists: **Charles L. Evans**, formerly of Federal Reserve Bank of Chicago
Pierre-Olivier Gourinchas, International Monetary Fund
Olli Rehn, Bank of Finland
Eli M. Remolona, Jr., Bangko Sentral ng Pilipinas
Boštjan Vasle, Banka Slovenije

Tuesday, May 28, 2024

Theme B: Effects of Conventional and Unconventional Policy Instruments

Keynote Speech II: (Un)conventional Monetary Policy and Resilience

Chairperson: **Takeo Hoshi**, The University of Tokyo

Speaker: **Markus Brunnermeier**, Princeton University

Session 3: Testing the Effectiveness of Unconventional Monetary Policy in Japan and the United States

Chairperson: **Takeo Hoshi**, The University of Tokyo

Paper Presenter: **Sophocles Mavroeidis**, University of Oxford

Discussant: **Åsa Olli Segendorf**, Sveriges Riksbank

Session 4: Conventional and Unconventional Monetary Policies - Inflation and Resources

Chairperson: **Takeo Hoshi**, The University of Tokyo

Paper Presenter: **Ricardo Reis**, London School of Economics and Political Science

Discussant: **Masazumi Hattori**, Hitotsubashi University

Policy Panel Discussion II

Moderator: **Markus Brunnermeier**, Princeton University

Panelists: **Michelle W. Bowman**, Board of Governors of the Federal Reserve System
Thomas J. Jordan, Swiss National Bank
Loretta J. Mester, Federal Reserve Bank of Cleveland
Isabel Schnabel, European Central Bank
Ryozo Himino, Bank of Japan

参考２：参加者リスト

Nur Aimi binti Abdul Ghani	Bank Negara Malaysia
Kosuke Aoki	The University of Tokyo
Jan Marc Berk	De Nederlandsche Bank
Tobias Blattner	European Central Bank
Michelle W. Bowman	Board of Governors of the Federal Reserve System
Markus Brunnermeier	Princeton University
Lillian Cheung	Hong Kong Monetary Authority
Ken Chikada	Bank of Japan
John H. Cochrane	Stanford University
Francisco G. Dakila, Jr.	Bangko Sentral ng Pilipinas
Charles L. Evans	formerly of Federal Reserve Bank of Chicago
Shin-ichi Fukuda	The University of Tokyo
Marcus Fum	Monetary Authority of Singapore
Jaqueson K. Galimberti	Asian Development Bank
Lara Romina E. Ganapin	Bangko Sentral ng Pilipinas
Carlos Garriga	Federal Reserve Bank of St. Louis
Andrea Gerali	Banca d'Italia
Frederico Gil Sander	World Bank
Pierre-Olivier Gourinchas	International Monetary Fund
Toni Gravelle	Bank of Canada
Masazumi Hattori	Hitotsubashi University
Hideo Hayakawa	Tokyo Foundation for Policy Research
Ryozo Himino	Bank of Japan
Kazuhiro Hiraki	Bank of Japan
Johannes Hoffmann	Deutsche Bundesbank
Yoshihiko Hogen	Bank of Japan
Takeo Hoshi	The University of Tokyo
Kenta Ichikawa	Bank of Japan
Hibiki Ichiue	Keio University
Daisuke Ikeda	Bank of Japan
Hiroshi Inokuma	Bank of Japan

Takatoshi Ito	Columbia University
Kazumasa Iwata	Japan Center for Economic Research
Thomas J. Jordan	Swiss National Bank
Masaaki Kaizuka	Bank of Japan
Takeshi Kato	Bank of Japan
Peter Kažimír	Národná banka Slovenska
Yukinobu Kitamura	Rissho University
Satoshi Kobayashi	Bank of Japan
Hirohide Kouguchi	Bank of Japan
Haruhiko Kuroda	National Graduate Institute for Policy Studies
Jae Won Lee	Bank of Korea
Arthur Loussier	Banque de France
Eiji Maeda	Chiba-Bank Research Institute, Ltd.
Sophocles Mavroeidis	University of Oxford
Loretta J. Mester	Federal Reserve Bank of Cleveland
Kazuo Momma	Mizuho Research & Technologies
Yutaka Murayama	Cabinet Office
Junko Nakagawa	Bank of Japan
Toyoaki Nakamura	Bank of Japan
Hiroshi Nakaso	Daiwa Institute of Research Ltd.
Kiyohiko G. Nishimura	National Graduate Institute for Policy Studies
Asahi Noguchi	Bank of Japan
Takemasa Oda	Bank of Japan
Yasutaka Ogawa	Bank of Japan
Åsa Olli Segendorf	Sveriges Riksbank
Athanasios Orphanides	Massachusetts Institute of Technology
Kazuki Otaka	Bank of Japan
Paolo Pesenti	Federal Reserve Bank of New York
Olli Rehn	Bank of Finland
Ricardo Reis	London School of Economics and Political Science
Eli M. Remolona, Jr.	Bangko Sentral ng Pilipinas
Adam Richardson	Reserve Bank of New Zealand
Tetsuya Sakamoto	Bank of Japan

Martin Šanta	Národná banka Slovenska
Isabel Schnabel	European Central Bank
Seiichi Shimizu	Bank of Japan
Mototsugu Shintani	The University of Tokyo
Etsuro Shioji	Chuo University
Shigenori Shiratsuka	Keio University
Arthur Sogno Pèes	Banque de France
Nao Sudo	Bank of Japan
Takeki Sunakawa	Hitotsubashi University
Atsuto Suzuki	Bank of Japan
Kosuke Suzuki	Ministry of Finance
Wataru Takahashi	Osaka University of Economics
Hajime Takata	Bank of Japan
Naoki Tamura	Bank of Japan
Fumikazu Taniguchi	Bank of Japan
Eva Taylor	European Central Bank
John B. Taylor	Stanford University
Shinichi Uchida	Bank of Japan
Kazuo Ueda	Bank of Japan
Boštjan Vasle	Banka Slovenije
Masazumi Wakatabe	Waseda University
Tsutomu Watanabe	The University of Tokyo
Naoyuki Yoshino	Keio University
Rebecca Zarutskie	Board of Governors of the Federal Reserve System

開会挨拶

日本銀行総裁　植田和男（うえだかずお）

1.　はじめに

今回で 29 回目となる日本銀行金融研究所の国際コンファランスに、識者の皆さまにご参加いただき、大変光栄に存じます。コンファランスの主催者を代表して、皆さまに心から感謝申し上げます。また、私の古くからの友人である、スタンフォード大学のジョン・テイラー教授には、2008 年に、第一回前川講演者としてご登壇いただきましたが、今回、再び前川講演者として国際コンファランスにお越しいただけたことにも感謝申し上げます。

さて、この国際コンファランスはほぼ毎年開催されていますが、今年は、日本銀行の金融政策の「多角的レビュー」の一環と位置付けられているという意味で、ユニークです。このレビューは、過去 25 年間に実施されてきた様々な非伝統的金融政策手段についての理解を一段と深め、将来の政策運営にとって有益な知見を得ることを目指しています。そのため、今年の国際コンファランスは、「物価変動ダイナミクス」と「伝統的・非伝統的金融政策の効果」という 2 つのテーマを扱います。私達、日本銀行としましては、これらのテーマに関するさらなる知見を蓄積すべく、今日と明日の 2 日間にわたり、皆さまと活発な議論ができることを非常に楽しみにしています。ここではその導入として、日本銀行が最近実施した金融政策の枠組みの見直しについてお話したあと、過去 25 年間について私の振り返りを 20 分間程度に凝縮して述べたいと思います。

2.　わが国におけるゼロ・インフレの罠と大規模金融緩和
（最近の金融政策の枠組みの見直しについて）

日本銀行は、今年 3 月の金融政策決定会合において、物価見通しが改善してきたこと等を踏まえて、これまでの非伝統的な金融緩和手段の大半を終了することを決定しました。具体的には、マイナス金利政策とイールドカーブ・コントロールの枠組みの撤廃、ETF や J-REIT の新規買入れの停止などです。同時に、フォワード・ガイダンスも終了しました。一つは、「物価安定の目標」を安定的に持続するため

日本銀行金融研究所主催 2024 年国際コンファランスにおける開会挨拶の邦訳

に必要な時点まで「長短金利操作付き量的・質的金融緩和」を継続すること、もう一つは、消費者物価の前年比上昇率が安定的に 2％を超えるまでマネタリーベースの拡大を継続すること、でした。こうした決定に至った経緯については、私が先月ピーターソン国際経済研究所で行った講演をご参照いただきたいと思います（Ueda [2024]）。

（ゼロ・インフレの罠とゼロ金利制約）

さて、過去を振り返りますと、日本銀行は、1990 年代後半に非伝統的な金融緩和手段を導入しました。もっとも、2000～01 年および 2006～07 年には、それが解除され、短期政策金利がプラスで推移する時期もありました。私は、こうした非伝統的な手段を初めて導入した時期と終了した時期に、日本銀行政策委員会委員を務めていたこともありますので、その有効性や限界をお話ししたいと思います。非伝統的金融政策の有効性や限界については、すでに多くの研究が存在しますが、冒頭で申し上げたとおり、日本銀行は、その経験の「多角的レビュー」を実施しているところであり、その結果は、今後公表する予定です。今日この場では、多岐にわたる非伝統的な金融政策を実施したにもかかわらず、日本がゼロ・インフレまたは低インフレから長きにわたり脱却できなかったのはなぜか、という何度も繰り返し問われたテーマについて、簡単にお話しします。というのも、この議論は、今回の国際コンファランスの序論になると思うからです。

図表 1 は、消費者物価指数（消費税率引上げ等の影響を除いたもの）前年比の後方 3 年移動平均をとることで、わが国の「ゼロ・インフレの罠（zero-inflation trap）」の様子をお示ししています。この指標によると、インフレ率は、1996 年から 2022 年までの 27 年間もの間、マイナス 1.0％からプラス 0.7％の範囲にとどまり続けました[1]。この事象の主たる理由は、「ゼロ金利制約（Zero Lower Bound: ZLB）」にもとづくものだと思います。図表 2 でお示ししたとおり、オーバーナイト・コールレートは、1995 年後半までには 0.5％を下回る水準まで低下していました。つまり、ゼロ・インフレの罠が始まるまでには、日本銀行は、すでに経済を刺激するための短期金利に対する影響力を使い切ってしまっていた、ということです。

（日本銀行による大規模緩和）

もっとも、こうした主張に対する反論があり得ることも認識しています。日本銀行を含む多くの中央銀行は、経済を刺激するために様々な非伝統的な手段を導入しましたし、そのうちのいくつかは、先ほど述べましたとおり、最近まで日本では用いられていました。今回のコンファランスでも、こうした非伝統的な手段のうち

1 この消費者物価指数は、消費税率引上げの影響などを除いた日本銀行スタッフによる試算値にもとづいています。

のいくつかは、ZLB の障壁を克服するために有効であるとの議論があるでしょう。もっとも、日本銀行が長らくゼロ・インフレの罠から脱却できなかったという事実は、ZLB がもたらす困難の大きさについての一応の証左であるとも言えます。

また、日本銀行が採用した政策枠組みの展開について、いくつかの点でその時点で最適ではなかったと指摘する方もいるかもしれません。例えば、ゼロ・インフレの罠に陥った最初の数年間は、明示的なインフレ目標がありませんでした。日本銀行は、2000 年に、ゼロや小さなプラスの値など、特定のインフレ率の水準を用いて物価安定を定義すべきか否かを検討しましたが、その当時は、コンセンサスには至りませんでした。2006 年 3 月には、1%を中心値とする 0～2%程度の範囲であれば、各政策委員の物価安定の理解と整合的であるとし、2009 年 12 月には、0%以下のマイナスの値を許容しないことなど、それをさらに明確化しました。日本銀行は、最終的には 2013 年 1 月に、2%の物価安定の目標を導入しました。後知恵になってしまいますが、仮に明確なインフレ目標値が導入されていれば、例えば、2000 年 8 月のゼロ金利政策解除に至るまでの議論の様相は、実際とは異なったものになったかもしれません。1999 年 4 月の導入時における短期金利に関するフォワード・ガイダンスの内容をみると、日本銀行は、デフレ懸念が払拭されるまでゼロ金利を継続するとしていましたが、解除時点では、コア・インフレ率は、まだマイナス 0.5%にすぎませんでした。その後のデフレをそのわずかな利上げだけのせいにするのは難しいと思いますが、このゼロ金利政策解除の経験は、その後に行われたフォワード・ガイダンスの有効性を弱めた可能性もあります。

もう 1 つ考えるべき点は、資産買入れを開始したタイミングです。日本銀行による積極的な長期国債の買入れは、図表 1 でお示ししたインフレ動向を踏まえると、比較的遅いものでした。日本銀行は、2001 年 3 月の量的緩和政策の開始に伴い、以前よりも多くの額の長期国債を購入し始めたものの、図表 3 が示すように、その保有残高は、2013 年に入るまでは、顕著に増えてはいませんでした。これとは対照的に、Fed の米国債保有残高は、世界金融危機への対応として、2009 年初に急激に上昇し始めています。

ここで、注目すべき点としては、図表 4 でお示ししたとおり、米国の 10 年物国債金利は、Fed が大規模な資産買入れを開始した時点では 4%近くもありましたが、日本の 10 年物国債金利は、1990 年代後半にはすでに 2%を下回っていたという点です。この事実は、もし 2000 年代初頭に日本銀行の国債買入れの増額が行われたとしても、果たして十分な効果があったのか、との疑念を生じさせます。

（ゼロ・インフレの罠と低いインフレ予想の定着）

日本銀行が困難に直面したもう一つの理由についても説明したいと思います。私は、低インフレが持続するという予想が定着したことが重要な意味を持ったと考え

ています。それは、経済主体の行動変化、とりわけ、企業の戦略的な価格設定行動の変化につながり、ゼロ・インフレの罠に陥っている期間を長引かせることになりました。今回の国際コンファランスで後ほど私の同僚たちが詳しく説明すると思いますが、企業は、他の企業が価格を引き上げないと思うと、コストや需要に多少の変化があったとしても、自らも価格（および賃金）を据え置くことが最善であると思うようになり、結果的に全体でみたインフレ率やインフレ予想がゼロ％付近に定着するようになります。こうした経済においては、ある均衡から別の均衡へ移るためには、非常に大きなショックが必要になる可能性があります。

このたび、日本銀行は、企業の価格と賃金の設定行動に関して多数の企業を対象に大規模なアンケート調査を実施しました。図表 5 では、そのうちの注目すべき点をお示ししています。ゼロ・インフレの罠に陥っていた期間では、企業の多くは、競争相手が値上げしていないので、自らも値上げできなかったと回答しています。もっとも、ここ最近の 2 年間ほどは、競争相手が値上げすることを理由に自らも値上げするという、逆の傾向もみられました。ここには、循環論法的な側面がありますが、重要な点は、こうした戦略的な相互作用が複数均衡をもたらしうること、あるいは、少なくとも、物価や賃金の正のショックに対する反応を弱めうるということです[2]。図表 6 は、毎年の春季労使交渉の結果であるベースアップ分の賃金上昇率を示しています。ご覧のとおり、驚くべきことに、この上昇率は、1999 年から 2013 年までの間、ゼロ・インフレの罠が定着してしまったことを映じて、ほぼゼロ％で推移しました。しかし、2014 年以降には明確な変化が現れました。すなわち、2013 年に導入された新たな金融緩和の枠組みや、顕在化し始めた人手不足の影響を受けて、まず、賃金が小幅ながらも上昇し始め、その後、昨年から今年にかけては、恐らくは、近年の世界的なインフレと金融緩和の枠組みが維持されたことの影響から、急速に上昇していきました[3]。

3. 今後の課題

それでは、今後の課題を簡単に述べたいと思います。日本銀行の目標は、2％のインフレを持続的かつ安定的に実現することです。これまでのところ、インフレ予想をゼロ％から押し上げることには成功したように思いますが、それを今回は 2％の目標値にアンカーしなければなりません。日本銀行は、インフレ目標の枠組みを有する他の中央銀行と同様に、その実現に向けて注意深く進んでいくつもりです。日本銀行が直面する課題の多くは他の中央銀行が直面したものと似た側面を有していますが、いくつかの課題には日本に特有の難しさもあります。

2 Taylor [2000] は、米国の物価変動ダイナミクスに関して同様の点を指摘しています。また、Lagarde [2023] は、2021～23 年の世界的なインフレがインフレ予想と価格設定行動に対する一種の協調メカニズムとして働いたことを論じています。

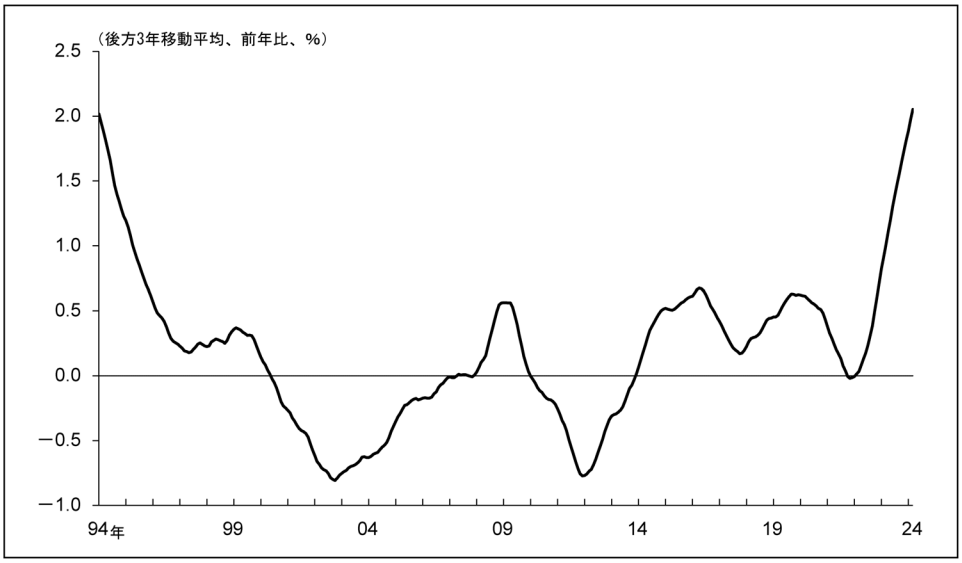
3 この点については、Ueda [2024] や内田［2024］をご参照ください。

そうした課題のうち主要な一つが、自然利子率（r^*）をできるだけ正確に把握することです。その正確な計測は、どの中央銀行にとっても容易なことではありませんが、過去 30 年間の長きにわたって短期金利がほぼゼロに張り付いてきた日本では、特に難しいことです。実質金利は多少なりとも変動してきたとはいえ、金利変動が乏しいもとでは、金利変動に対する経済の反応度合いを計測することには相応の難しさがあります。

最後になりましたが、今日と明日の 2 日間にわたる国際コンファランスでの議論が、中央銀行コミュニティにとって貴重な学びとなり、今後の課題への対処の一助となることを祈念します。

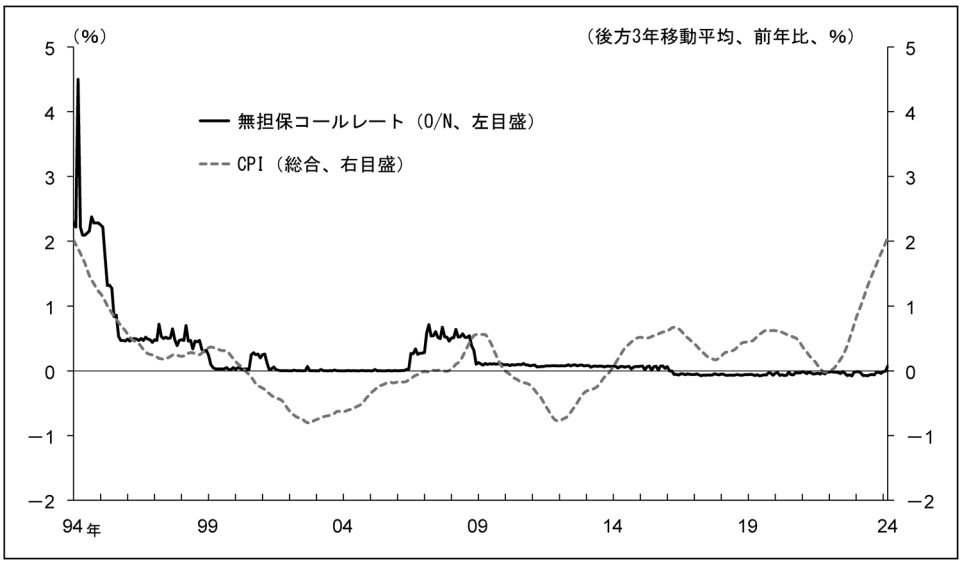
ご清聴ありがとうございました。

図表１　インフレ率（CPI ＜総合＞）



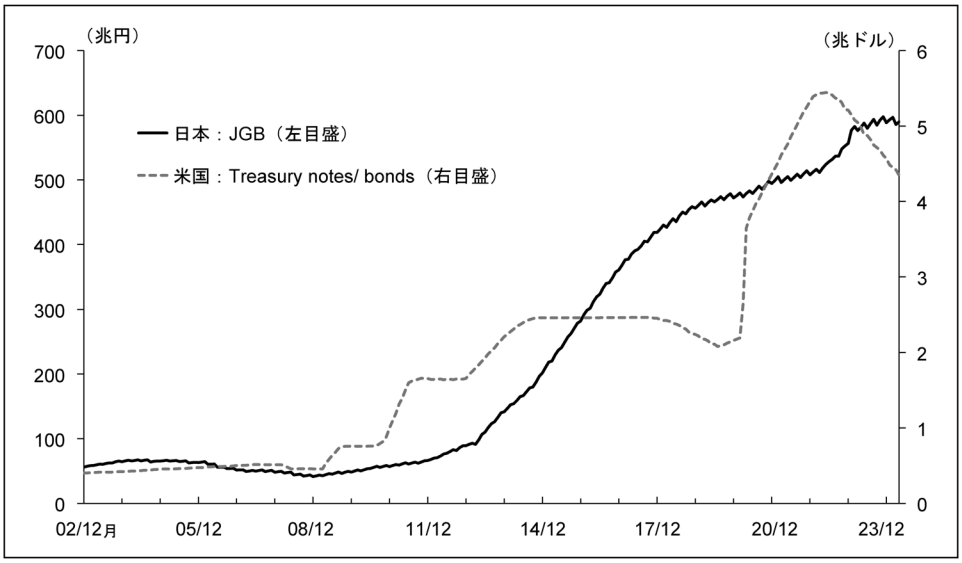
（注）消費税率引き上げ・教育無償化政策、旅行支援策の影響を除いた日本銀行スタッフによる試算値。
（出所）総務省

図表２　短期金利とインフレ率



（注）CPI は、消費税率引き上げ・教育無償化政策、旅行支援策の影響を除いた日本銀行スタッフによる試算値。
（出所）総務省、日本銀行

図表 3　中央銀行の国債保有額

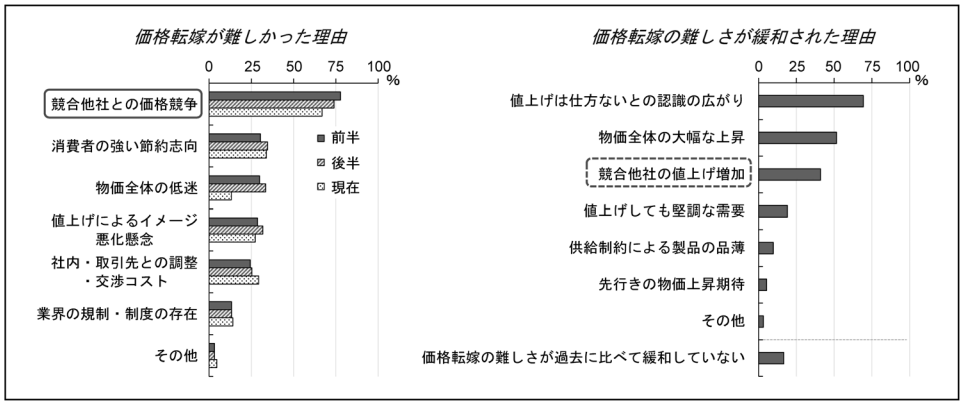


（注）日本は月次データ、米国は各月の最終水曜日のデータ。
（出所）連邦準備制度理事会、日本銀行

図表 4　長期金利

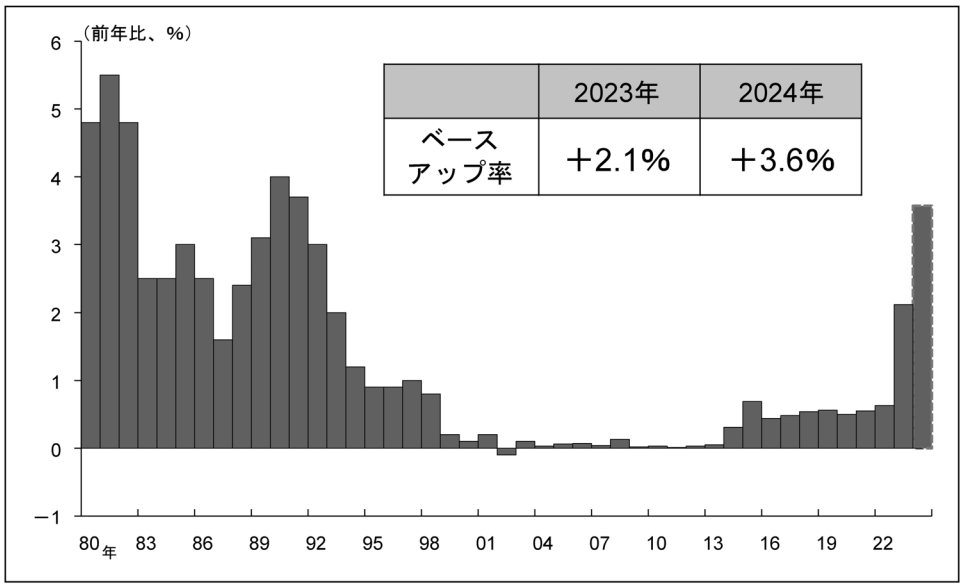
（注）米国債（Treasury Securities）と日本国債（JGB）の市場利回り（10 年物、コンスタントマチュリティーベース）。
（出所）連邦準備制度理事会、財務省

図表 5　企業部門への大規模アンケート



（注）1990 年代半ばからの過去 25 年を以下の 3 期間に分けたときの回答結果：左図の「前半」は 1990 年代半ば～2000 年代頃、「後半」は 2010 年代頃、「現在」は過去 1 年程度の期間。
（出所）日本銀行

図表 6　ベースアップ率（春季労使交渉）



（注）2014 年までは中央労働委員会、2015～2024 年は連合の公表値。2024 年は第 5 回集計の値。
（出所）日本労働組合総連合会（連合）、中央労働委員会

参考文献

内田眞一、「最近の金融経済情勢と金融政策運営――奈良県金融経済懇談会における挨拶――」、日本銀行、2024 年（https://www.boj.or.jp/about/press/koen_2024/ko240208a.htm、2024 年 6 月 12 日）

Lagarde, Christine, “Policy Making in an Age of Shifts and Breaks,” speech at the Federal Reserve Bank of Kansas City’s Economic Policy Symposium on “Structural Shifts in the Global Economy,” in Jackson Hole on August 24–26, 2023.

Taylor, John B., “Low Inflation, Pass-Through, and the Pricing Power of Firms,” *European Economic Review*, 44, 2000, pp. 1389–1408.

Ueda, Kazuo, “On the Recent Changes in the Bank of Japan’s Policy Framework,” remarks at the Peterson Institute for International Economics, 2024 (available at https://www.boj.or.jp/en/about/press/koen_2024/ko240502a.htm、2024 年 6 月 12 日).

わが国における過去25年間の物価変動

日本銀行副総裁　内田眞一（うちだ しんいち）

1. はじめに

日本銀行金融研究所主催の国際コンファランスにご参加いただいた皆様に、心より御礼を申し上げます。植田総裁による開会挨拶でも触れましたとおり、日本銀行は、過去 25 年間の金融政策運営についての「多角的レビュー」を実施しているところです。この間の金融政策運営は、端的に言えば、「しつこいデフレとの闘い」であり、「ゼロ金利制約との闘い」でした。

最初に、この期間中のインフレ率の推移を概観します（図表 1）。わが国のデフレは 1990 年代末に始まり、15 年間にわたって続きました。この間の平均値をとると、前年比 –0.3％程度でした。マイルドな、しかし、しつこいデフレだったということです。

こうした事態に対処するため、日本銀行は、2013 年に 2％の「物価安定の目標」と量的・質的金融緩和（QQE）政策を導入し、2016 年にはマイナス金利政策およびイールドカーブ・コントロール（YCC）を導入しました。その結果、デフレではない状態を実現することはできましたが、インフレ率の平均値は前年比 0.5％と、目標の 2％に満たないものでした。最近では、世界的なインフレを契機に、わが国のインフレ率は 3％程度に上昇しました。

大きな論点は、現在の物価を巡る動向の変化が、不可逆的なデフレからの構造変化を意味するのか、あるいは、単に世界的なインフレによってもたらされた一時的な現象にすぎないのか、ということです。本講演では、この重要な問いに対し、私なりにお答えしてみようと思います。このことは、日本銀行の金融政策運営の先行きのみならず、日本経済の将来にとっても示唆を与えるものであると考えます。

日本銀行金融研究所主催 2024 年国際コンファランスにおける基調講演の邦訳

2. 日本のデフレの原因

（資産バブルの崩壊と慢性的な需要不足）

そのためには、まず、1990年代にまでさかのぼって、日本のデフレの原因を探ってみる必要があります。デフレが生じた背景として、実体経済面では、日本経済が、「成長トレンドの低下」と「慢性的な需要不足」という2つの事象を経験した点が挙げられます（図表2）。

そうなった原因は複合的なものですが、最も重要な要因は、1990年代初頭の資産バブルの崩壊だと考えられます。バブル崩壊後、金融システムの混乱や、企業部門における痛みを伴うバランス・シート調整のプロセスが生じました。企業は、過剰設備、過剰雇用、過剰債務への対応を余儀なくされました。こうしたもとで、企業は、次第にリスクテイクに慎重になり、新興国の台頭に伴うグローバル化の潮流に対応して、自らの事業展開を迅速に変化させることができませんでした。貯蓄投資バランスをみると、企業部門はこの頃から貯蓄超過に転じました（図表3左パネル）。また、企業は限られた資金の大半を海外投資に振り向けました（図表3中央パネル）。この結果、国内資本ストックの蓄積および労働生産性の上昇率が低下し、潜在成長率が下がりました（図表3右パネル）。

こうした中、自然利子率（r^*）は、他国対比で、より早くかつより大きく低下しました。よく知られているとおり、r^*を計測することは容易ではなく、足元の推計値も、モデルによって、−1.0％から＋0.5％の範囲でばらついています（図表4）。ただ、いずれにしても、わが国のr^*は低く、かつ、趨勢的に低下してきたことは確かです。そうでなければ、この20〜30年間に起きた事象を説明することはできません。

（人口減少・高齢化と自然利子率の低下）

バブル崩壊に加え、人口減少・高齢化もr^*の低下に影響した可能性があります。人口動態がr^*に及ぼす影響は理論的にも単純ではありません。r^*は、一人当たりGDP成長率に関連付けられることが多いですが、労働投入の変化と経済規模の変化が同じペースであれば、人口減少がr^*を低下させるわけでは必ずしもないはずです。もっとも、従属人口比率が上昇すれば、一人当たりGDP成長率は低下することになります（図表5）。

この従属人口比率の問題に対する解決策は明らかで、長く働けるようにすること

です。この点、シニア層は昔よりもはるかに健康であるわけですが、2010 年代に入るまで、このことは一般的にならず、シニア層の労働参加率は、2012 年頃になって、ようやく上昇し始めました（図表 6）。その時期、QQE やその他の政策による積極的な経済刺激のもとで、わが国は、バブル崩壊後初めて、人手不足を経験するに至りました。つまり、それ以前は、企業がシニア層の労働力に頼る必要が必ずしもなかったということです。

ご存じのとおり、日本は高齢化が最も進んだ国の 1 つです。2019 年に日本が G20 の議長国を務めた際にも、「高齢化」は優先的な検討事項の 1 つでした。出席者たちが様々な角度から議論してたどり着いたのは、当然とも言える結論ですが、高齢化の影響は複雑だ、ということでした。シニア層がライフサイクルに応じて貯蓄を取り崩すのであれば、r^*は上昇するはずですが、一方で、人々がいわゆる長生きのリスクを強く意識する場合には、若いうちからより貯蓄し、老後も取崩しペースを抑えることになります。私は、人口減少・高齢化自体が問題であると言いたいわけではありません。むしろ、人口減少・高齢化に起因する問題に対して、社会がうまく対応できなかった、あるいは、対応が緩慢であったようにうかがえる、ということです。

わが国では、人口問題はネガティブな意味合いで議論されることが多いように思います。企業は、需要サイドに注目して、国内市場の縮小を心配する傾向が強かったですが、一方で、人口減少は労働力の減少も意味します。もっとも、こうした労働供給サイドの含意は、デフレ期には、あまり意識されてきませんでした。これは、企業にとっては、ある意味当然のことで、自社の雇用を過剰だと考えていたからです（図表 7）。この点については、後ほど触れたいと思いますが、ここでは、労働市場が鍵であるとだけ、申し上げておきます。

（インフレ率と予想インフレ率の低下）

それでは、話題を物価動向に移しましょう。実績のインフレ率と予想インフレ率をみると、ともに 1990 年代に低下し、2000 年代には低水準で推移したあと、2013 年入り後に幾分上昇しました（図表 8）。

わが国のインフレ予想には 2 つの特徴があります。第 1 は、実体経済の成長トレンドや予想成長率と、高い正の相関を持っているという点です（図表 9）。第 2 は、中長期のインフレ予想の形成が、フォワード・ルッキングというよりは、適合的である点です（図表 10）。もちろん、こうした傾向は、中央銀行の政策担当者にとっては、好ましいことではありません。インフレ予想がアンカーされておらず、実体経済や実績のインフレ率の動向を映じて変動することを意味するからです。

端的に言えば、この間に生じたことは、以下のとおりです（図表 11）。1990 年代から 2000 年代にかけて、インフレ率は、慢性的な需要不足によって、低下しました。成長トレンドと r^*が低下する中、その多くが伝統的政策手段であった、当時の日本銀行の金融政策は、ゼロ金利制約のもとで、需要を十分に刺激することができませんでした。需要低迷が長引くもとで、インフレ率には上昇圧力がかからず、日本銀行がインフレ率を押し上げることができないとの見方のもと、予想インフレ率は低いままで推移しました。要すれば、ゼロ金利制約に直面するもとで、日本銀行の金融政策は、実績インフレ率や予想インフレ率を押し上げる十分な力を発揮できなかったと言えます。もっとも、当時の政策対応は、流動性を潤沢に供給することで、金融システムを守ることに貢献した、という点は付言しておきたいと思います。

2013 年以降は、QQE や YCC の導入によって、日本銀行は、ゼロ金利制約を一定程度は克服しました。実質金利はマイナス圏で推移し、r^*が低い水準であったことを踏まえても、金融政策は極めて緩和的な状態にありました（図表 12）。もっとも、経済に十分な刺激を与え、経済全体の姿を変えるには、さらに 10 年以上の年月を要しました。

3. デフレ的なノルム

（デフレ的なノルムの発生）

ここまで、私は、政策担当者の一人としての視点から、日本経済がデフレに陥り、そこから抜け出せなかったメカニズムを説明しました。これが、日本に起きたことの主たる部分だと思っていますが、皆様の学術的な観点からは、特に興味を引く話ではないかもしれません。結局は、ゼロ金利制約下で生じる標準的な話です。

しかし、日本のデフレの全体像を説明するうえでは、別の話を付け加える必要があります。それは日本だけが経験した現象であり、マイルドでしつこいデフレが、「現在の物価と賃金は将来も変わらない」という、ある種の社会的なノルム（social norm）を生み出したということです。ここで、私が「社会的（social）」という言葉を使うのは、それが単なる経済的な現象にとどまらないからです。

消費者物価指数（CPI）の品目別価格上昇率の分布をみますと（図表 13）、日本では、多くの品目がゼロ％のところに集中しています。一方、米国をみると、ピークは 2％付近にあり、その分布は、日本に比べてばらつきが大きくなっています。なお、このグラフは、感染症拡大とその後の世界的なインフレが生じる前のものです。企業の間では、「物価と賃金が変わらない（no change in prices and wages）」こと

を前提とした価格設定行動が広がり、ある種のノルムとなりました。企業は、顧客を失うことを恐れ、価格を据え置くことになりました。

では、なぜこのようなノルムが生まれたのでしょうか。この点も、契機は、慢性的な需要不足でした。需要不足に直面した場合の企業の対応は、教科書的に言えば、将来の回復を期すため、価格を下げ、生産量を削減し、従業員を減らす、ということになるでしょう。しかし、日本では、そうなりませんでした。社会には、できる限り雇用を維持すべきだという強いコンセンサスがありました。企業は雇用を守り、政府も様々な補助金や一時休業制度、公的金融などで企業を支援しました。結果として、失業率は、ピーク時でも大きくは上がらず、企業の倒産件数も限定的でした（図表 14）。

価格面をみると、企業にとっては、競合他社が残り、絶えず厳しい競争に晒され続けることになりました。賃金面をみると、雇用の安定と引き換えに賃金は削減されました（図表 15）。また、企業は、退職者をパートタイム労働者で補おうとするようになりました。こうして、価格マークアップが大きく低下し、一方で、賃金マークダウンが上昇することになりました（図表 16）。

このほど日本銀行が実施した企業向け大規模アンケートでは、多数の回答企業が、厳しい競争環境のもとで、顧客へのコスト転嫁を控えたと回答しています（図表 17 左パネル）。そのかわり、人件費を抑制したり、調達先に値下げを依頼することによって、コスト削減を図る、あるいは、単に利潤の減少を受け入れるなどの対応がとられました（図表 17 右パネル）。

また、こうしたデフレ的なノルムのもとでは、高品質の製品・サービスを生み出して値上げする方向に舵を切ることは難しかった、とも答えています。実際、回答企業の 70％以上が、将来の姿として、マイルドな物価上昇と賃金上昇を伴う状態のほうが、インフレ率がゼロ％である状態よりも望ましいとしています（図表 18 左パネル）。コスト転嫁が可能になり、事業展開しやすいという理由です。さらに、そうした状況になれば、コスト削減よりもむしろ投資を増やし、賃金も上げられる、と述べています（図表 18 右パネル）。

これらの結果は、よく知られたいくつかの事実とも符合します。過去 25 年間、日本企業は、新たな製品・サービスの創出に向けたプロダクト・イノベーションよりも、コスト・カットのためのプロセス・イノベーションを進めてきました。このことは、企業の価格マークアップの低下と、原因でもあり結果でもあるという意味で、関係しています。研究開発投資を十分行えず、結果として、製品・サービスを十分に差別化できなかった面があるということです。

こうしたデフレあるいはデフレ的なマインドセットが、当時の景気低迷の根本的な原因である、とよく言われます。もっとも、この点について、皆様からは、原因と結果を混同しているとの反論がありうると思います。また、相対価格と一般物価

を混同しているというご指摘もあるかもしれません。もちろん、理論的には、全体的なインフレ率がゼロ％であっても、個別の製品の相対価格の変化は起きえます。すなわち、企業は、全体的なインフレ率にかかわらず、個別製品・サービスの相対価格を上げられるはずだということです。基本的には、私もそのように考えます。こうしたノルムが、経済にマイナスの影響を及ぼしてきたかどうか、また、そうだとして、いかなる経路で作用してきたのか、説明することは簡単ではありません。

（メニュー・コスト）

ノルムについて理論的に説明するとすれば、名目賃金の硬直性やメニュー・コストなどがその候補として考えられます。ここでは、メニュー・コストについて、少しお話したいと思います。というのも、それはこの期間に起こった重要な出来事のいくつかをうまく描写しているように思うからです。

日本では、価格改定の頻度が 1990 年代にサービス部門を中心に低下しました（図表 19）。値上げ頻度、すなわち、価格が上昇した品目の割合は、基調的なインフレ率の低下とともに低下しました。こうした値上げ頻度の低下自体は、極めて自然なものですが、その低下幅が大きかったことは注目すべき点です。同時に、値下げ頻度、すなわち、価格が下落した品目の割合は、基調的なインフレ率が低下してもわずかしか上昇しませんでした。値上げ頻度の顕著な低下と値下げ頻度のわずかな上昇を合わせて考えると、企業が価格改定をためらっていたこと、すなわち、メニュー・コストの増加が示唆されます。この点、前述の企業向け大規模アンケートでは、企業は、コストの価格への転嫁を手控える理由として、他の理由に交じって、「値上げによるイメージの悪化懸念」を挙げています（再掲図表 17）。私が、「経済的」な現象を説明するのに、あえて「社会的」ノルムという言葉を使ったのは、こうしたことがあるからです。

メニュー・コストの増加は、物価変動の小ささと相まって、価格の調整のペースを鈍化させることになりました。これは、政策担当者からみると、この状況から抜け出すために、一段の取組みが必要になることを意味します。「物価と賃金が変わらない」というノルムは、あたかも、インフレ予想がゼロ％でアンカーされているかのように働きました。実際、前述の CPI の品目別価格上昇率の分布が示す通り、米国の 2％でのピークに比べて、日本のゼロ％でのピークはとても高いものになっており、ゼロ％へ引き寄せる重力は 2％のアンカーよりも強いと考えられます。

4. デフレ的な状況からの脱出

こうした状況から抜け出すためには、2 つのことが必要でした。第 1 に、デフレのそもそもの原因、すなわち、需要不足とその結果として生じた過剰な労働供給という問題を解決しなければなりません。第 2 に、メニュー・コストの閾値を超えること、より根本的には、デフレ的なノルムを克服しなければなりません。

前者に関しては、QQE やその他の緩和的な金融政策手段が、政府による様々な施策と相まって、経済に強力な刺激効果をもたらし、女性やシニア層を中心に 500 万人以上の新規雇用を創出しました（図表 20）。これらは、基本的には、高圧経済の戦略です。

図表 21 が示す通り、QQE の時期の労働市場では、雇用者報酬の前年比が概ね 2〜3％で安定的に推移していました。その内訳をみると、感染症拡大前までは、雇用者数の伸びがけん引するかたちでしたが、その後は、女性やシニア層による追加的な労働供給の余地が限られるもとで、賃金の上昇がけん引するかたちに変わりました。このように、感染症拡大以降、労働市場の構造は変化したと考えられ、この先も賃金は上昇していくとみています。

また、このことは、裏を返せば、2013 年に QQE を始めたときには、日本経済にはまだ大きなスラックが残っていたことを意味します。その当時は、女性やシニア層からこれほどの規模の追加的な労働力が供給されることは、予想されていませんでした。もちろん、この事実は、わが国の人口動態についての課題に対処するうえでは、好ましいことです。また、別のタイプのスラック、いわば隠れたスラックとして、顧客に対する過剰なサービスを、企業が無償で提供していたということも挙げられます。これは、個々の企業に雇用面の余剰があってこそ可能になったことです。日本銀行は、10 年間にわたって経済に高圧をかけ、ようやくこうしたスラックはなくなっていきました。

もうひとつのやるべきことは、メニュー・コストの閾値を超えること、あるいはデフレ的なノルムを克服することです。この点について、まずわかっていることは、近年の世界的なインフレを契機として、メニュー・コストが通常の水準に戻ったように窺われる、ということです。実際、価格改定頻度は、1990 年代初頭の水準まで戻っています（再掲図表 19）。CPI の品目別価格上昇率の分布も、形状が大きく変わりました（図表 22）。分布のばらつきは大きくなっており、分布のピークも低くなっています。この点は、最近の状況を考えると驚きではないですが、問題はこれが、近年の世界的なインフレゆえの一時的なものなのか、不可逆的な構造変化によるものなのか、ということです。のちほど、デフレ的なノルムという根本的な論点に焦点を当てて、この問いについて改めて議論します。

5. まとめと今後の展望

さて、結論を述べる前に、今日ここまでのお話をまとめておこうと思います（図表 23）。まず、1990 年代の資産バブルの崩壊後、金融システムの混乱と、企業部門の痛みを伴うバランスシート調整が生じました。こうしたもとで、企業部門だけでなく社会全体として、グローバル化の潮流への対応と人口減少・高齢化への対応が遅れることとなりました。

基調的な経済成長率は低下し、慢性的な需要不足、特に労働市場における需要不足が起こりました。r^*も低下しました。物価面では、実績のインフレ率と予想インフレ率がともに低下したものの、ゼロ金利制約のもとで、日本銀行の金融政策には、それらを押し上げる十分な力がありませんでした。

こうした困難な状況に対し、社会には雇用を維持するというコンセンサスがありました。政府の支援のもとでの企業による雇用維持は、過剰な雇用や企業数が残ることと引き換えに、経済と社会の安定に貢献しました。価格マークアップが大きく低下し、賃金マークダウンが上昇しました。こうして、「物価と賃金は上がらない」という考え方は、一種のノルムとなりました。企業は、プロダクト・イノベーションよりもプロセス・イノベーションに傾斜するようになり、そのことがさらに価格マークアップと相互に影響を与え合いました。

日本銀行は、2013 年以降、QQE や YCC などの政策によって経済に高圧をかけ続け、政府の諸施策と相俟って、女性やシニア層を中心に数百万人の雇用を創出し、雇用環境を人手不足の方向へ徐々に変えていきました。そして、近年の世界的なインフレは、デフレ的なノルムに対する最後の一押しとして作用しました。以上がまとめです。

それでは、今日の基調講演の冒頭で、私自身が提起した問い、すなわち、わが国で現在みられている傾向は不可逆的なものなのか、にお答えしたいと思います。すでに述べたとおり、これまでの状況を変えるためには、2 つのことが必要です。デフレのそもそもの原因を解消することと、デフレ的なノルムを克服すること、です。

1 点目については、自信を持って「イエス」と答えられます。労働市場の環境が構造的かつ不可逆的に変わったためです。この先、女性やシニア層から多くの追加的な労働投入を期待することには無理があります。日本の女性の労働参加率は、米国の労働参加率を超えています。もっとも、正確に言えば、女性がフルタイムでより長い時間働けるようにすることや、企業が人手維持のため定年延長することなど、まだ労働供給の余地は残されています。これらの取組みは、適切かつ必要なものですが、今回お示しした大きな姿を変えるほどの規模で行うことは難しいと思い

ます。

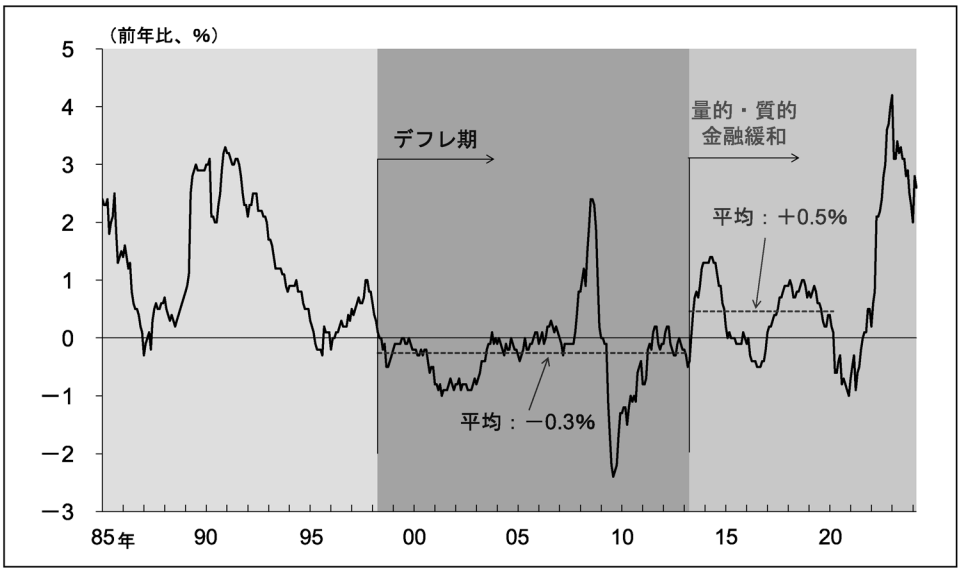
2 点目の、デフレ的なノルムの克服については、答えはそこまで明白ではありません。世界的なインフレがもたらしたコスト・プッシュ圧力が減衰しても、企業は現在の価格設定行動を続けるでしょうか？その鍵は、やはり労働市場です。労働市場の構造変化が持続する限り、企業は、働く従業員を保持し、惹きつけるために、充分な利益と賃金を生み出すビジネス・モデルを構築しなければなりません。価格設定戦略においても、企業は、労働コストに変化があれば、需要への影響も考えながら、メニュー表を速やかに書き直す必要が生じます。

「社会的なノルム」は解消に向かっています。この動き、そして長らく待ちわびた構造変化をもたらしている主な推進力は、人手不足です。人手不足は、個々の企業の変革と経済全体のダイナミズムをもたらすでしょう。そして、人手不足による変革のプロセスは、失業の増加につながる可能性が相対的には低いことから、他のプロセスと比較して、より低いコストで移行が進むと考えられます。

この 10 年間、QQE や YCC およびマイナス金利政策のもとでの経験を経て、日本銀行は、今年 3 月に、これらの一連の非伝統的な政策手段がその役割を果たしたと判断して、短期政策金利の操作を通じて 2%の物価安定の目標を目指す伝統的な金融政策の枠組みに戻りました。このことは、ゼロ金利制約を克服したことを意味します。引き続き、インフレ予想を 2%にアンカーしていくという大きな課題は残っていますが、デフレとゼロ金利制約との闘いの終焉は視野に入りました。

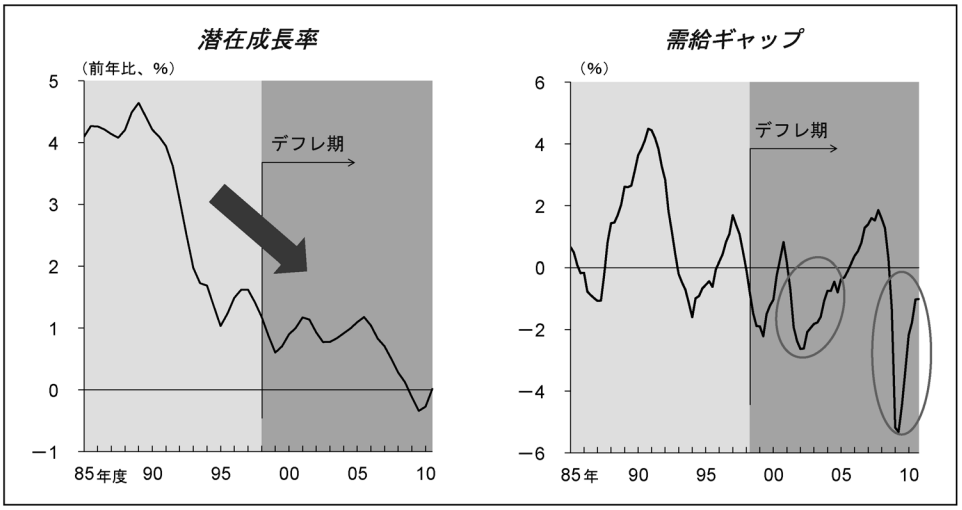
最後に、この言葉で締め括りたいと思います。「今回こそはこれまでと違う（This time is different）」。

図表１　インフレ率



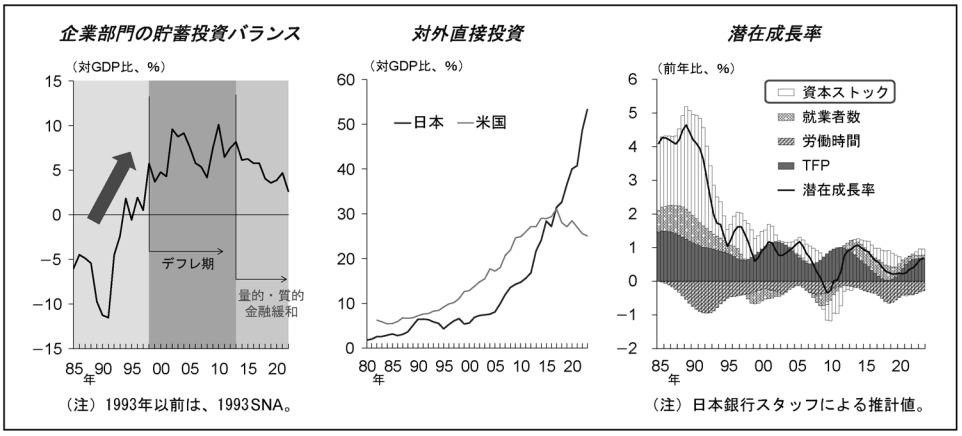
（注）CPI（生鮮食品を除く総合指数）。消費税率引き上げ等の影響を調整済。
（出所）総務省

図表２　潜在成長率と需給ギャップ（2010年以前）



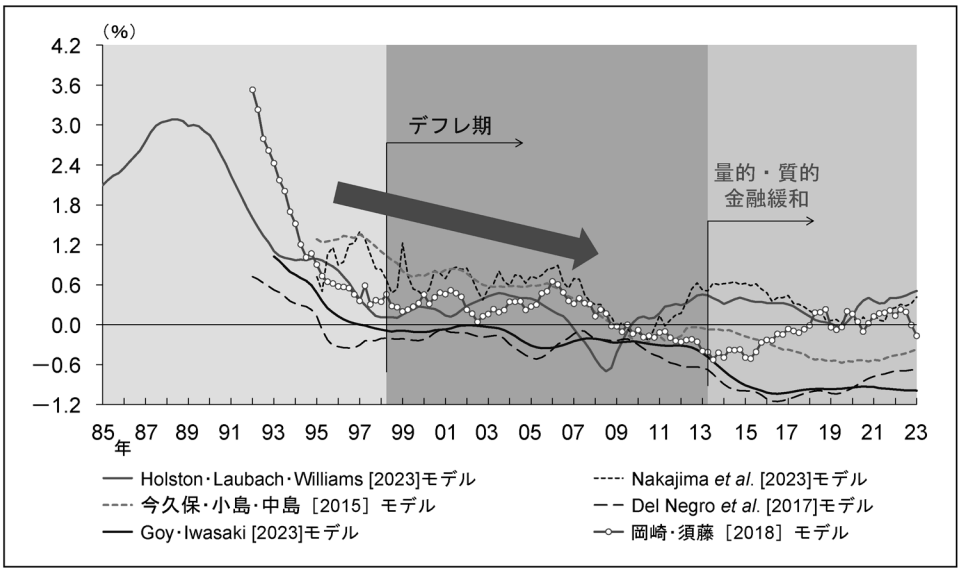
（注）日本銀行スタッフによる推計値。
（出所）日本銀行

図表 3　企業部門の投資



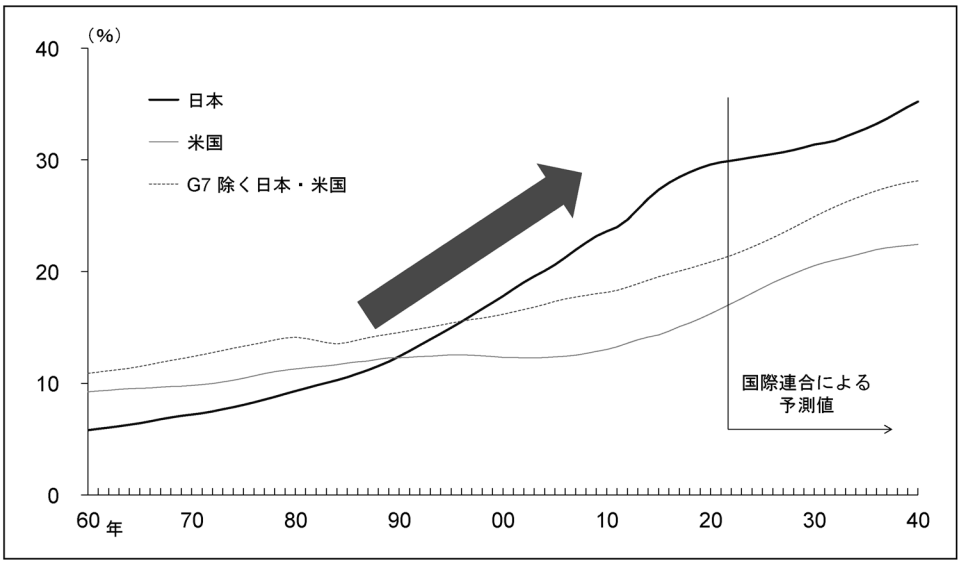
（出所）内閣府、Bureau of Economic Analysis、国際通貨基金、United Nations Conference on Trade and Development、日本銀行

図表 4　自然利子率



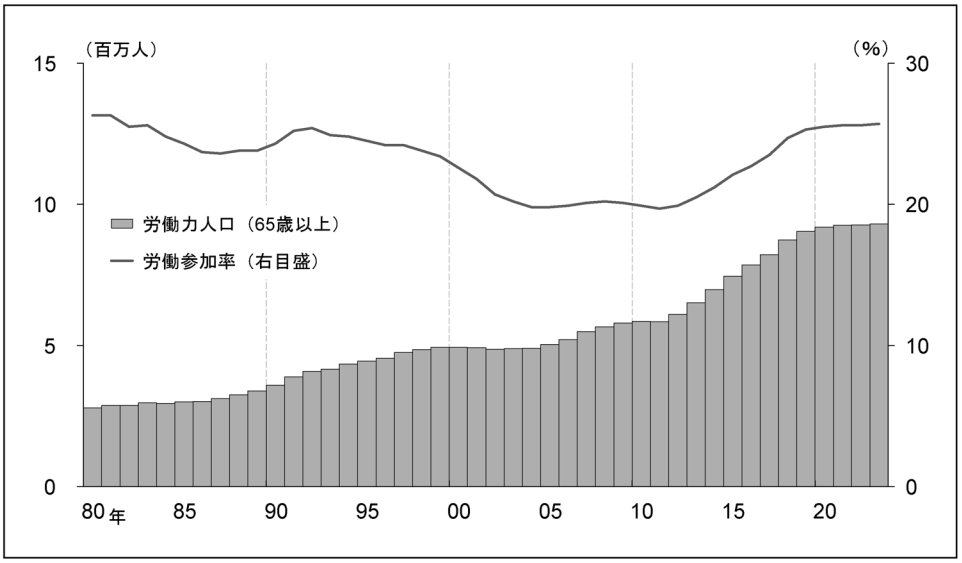
（注）各モデルをベースに推計した試算値。
（出所）日本銀行、財務省、厚生労働省、内閣府、総務省、Bloomberg、Consensus Economics「コンセンサス・フォーキャスト」

図表 5　従属人口比率



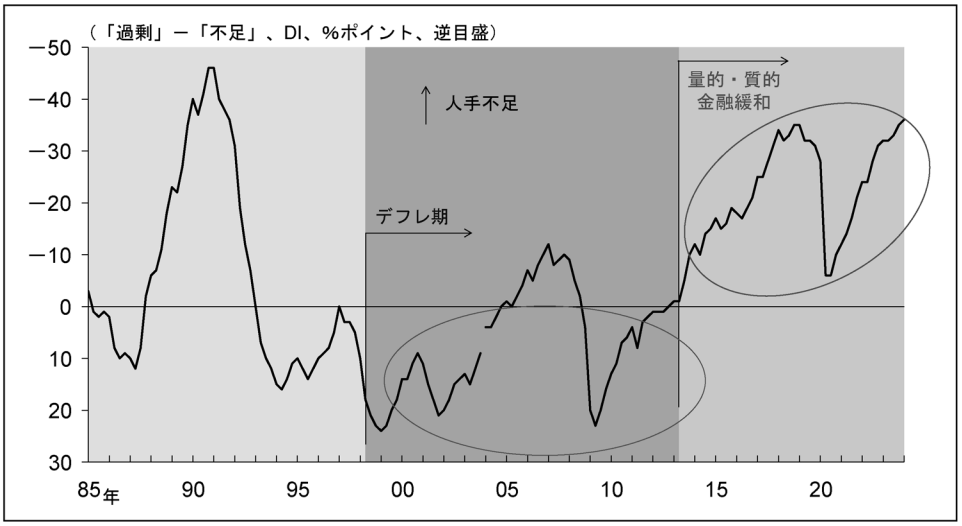
（注）従属人口比率は、総人口に占める 65 歳以上人口の比率。2022 年以降は、国際連合による予測値。
（出所）国際連合

図表 6　高齢者の労働参加



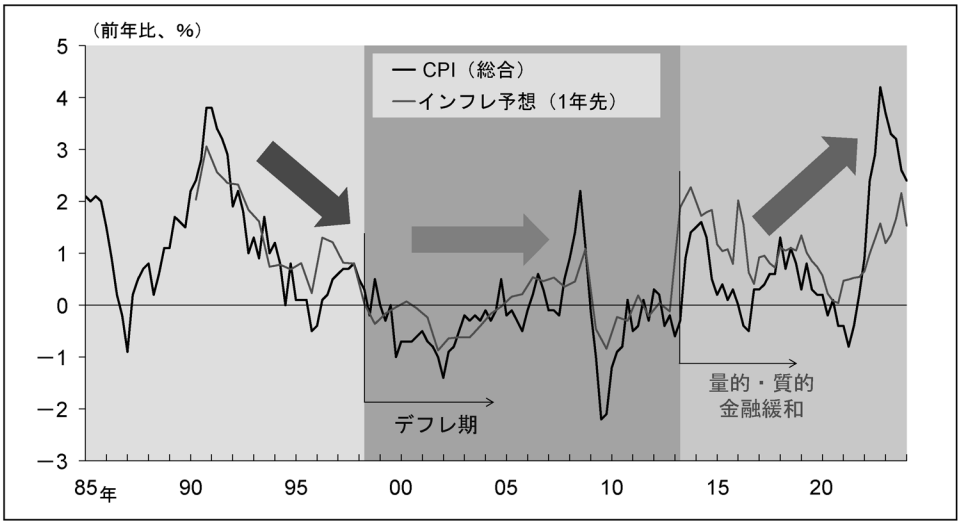
（出所）総務省

図表 7　雇用判断 DI



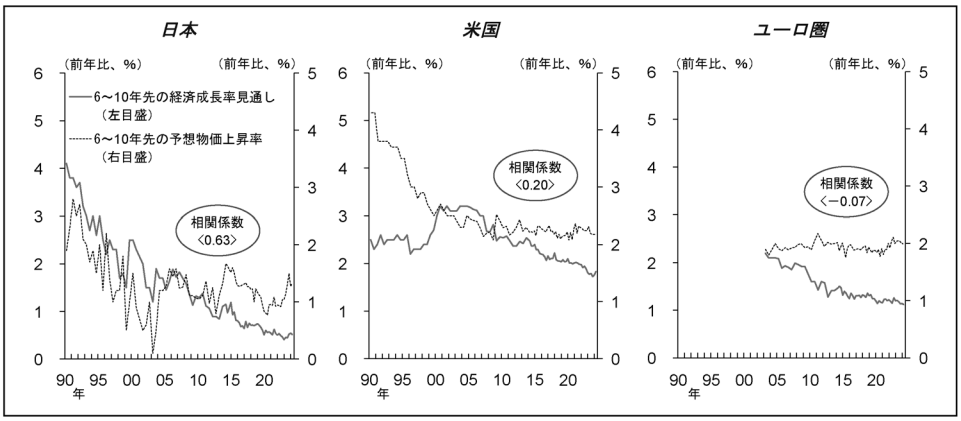
（注）「短観」における全規模・全産業の値。2003/12 月調査には、調査の枠組み見直しによる不連続が生じている。
（出所）日本銀行

図表 8　インフレ実績とインフレ予想



（注）「コンセンサス・フォーキャスト」は、2013 年までは年に 2 回、2014 年は 3 回、2015 年以降は年に 4 回実施。CPI は消費税率引き上げ・教育無償化政策、旅行支援策の影響を除いた日本銀行スタッフによる試算値。
（出所）総務省、Consensus Economics「コンセンサス・フォーキャスト」

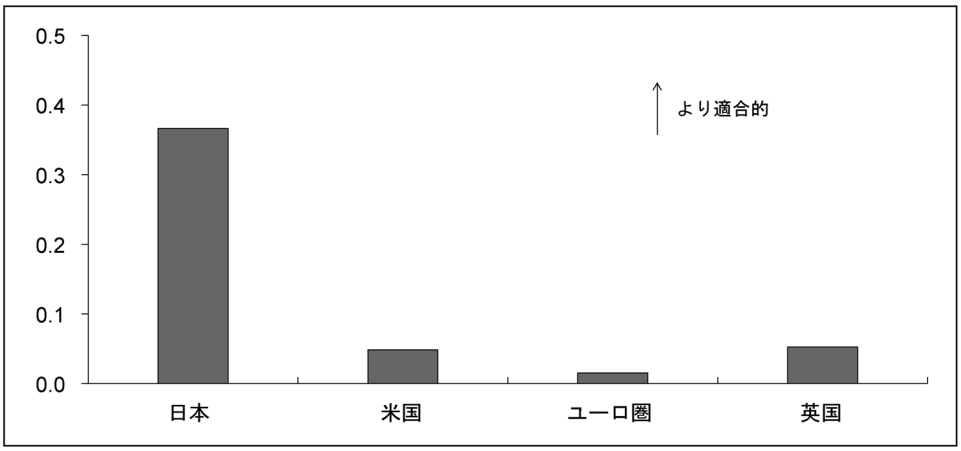
図表 9　中長期の経済成長率見通しと予想物価上昇率



（注）「コンセンサス・フォーキャスト」は、2013 年までは年 2 回、2014 年は年 3 回、2015 年以降は年 4 回実施。相関係数は、日本・米国は 1990～2024 年、ユーロ圏は 2003～2024 年のデータを用いて算出。

（出所）Consensus Economics「コンセンサス・フォーキャスト」

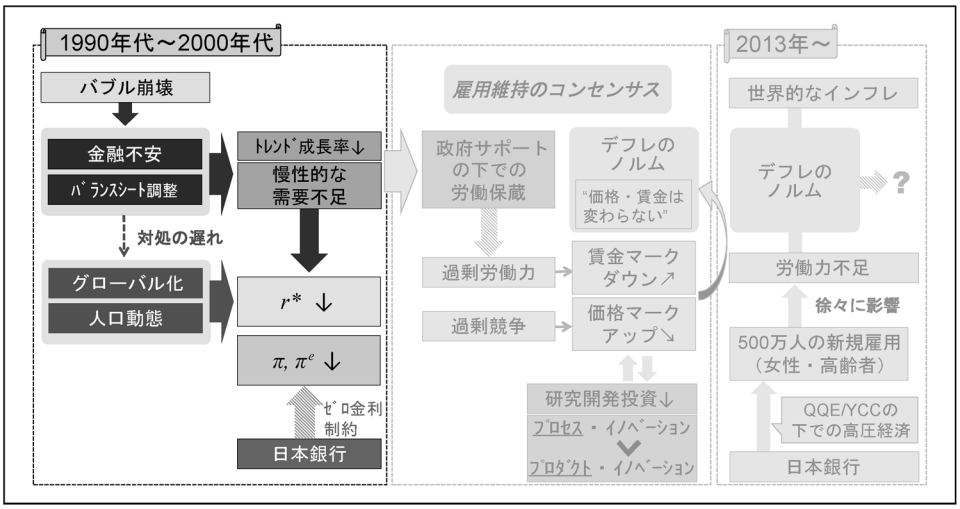
図表 10　適合的なインフレ予想形成の程度



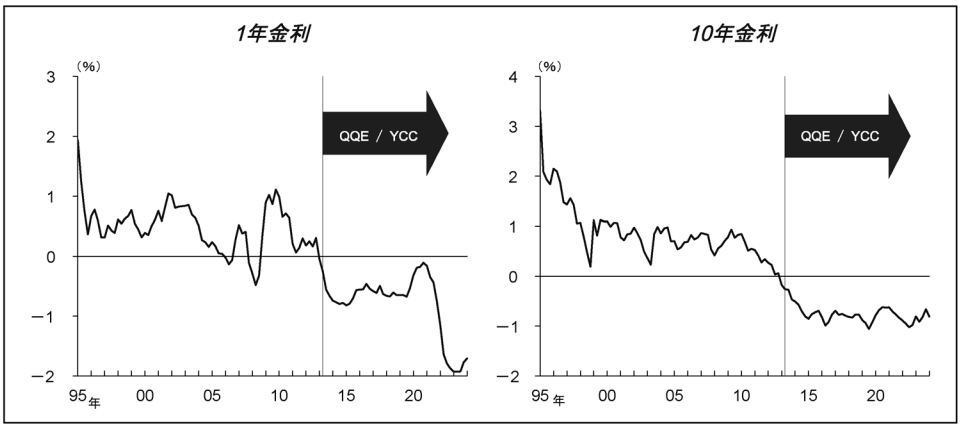
（注）1. 被説明変数を 6～10 年先のインフレ予想、説明変数を実績インフレ率としたときの、後者にかかる回帰計数 θ の値。
推計式は、6～10 年先インフレ予想（%）$=\theta \times$前四半期の実績インフレ率（%）$+(1-\theta) \times$中央銀行の物価目標（2%）。
2. 推計期間は、日本・米国が 2000/1Q～2024/1Q、ユーロ圏が 2003/2Q～2024/1Q、英国が 2005/1Q～2024/1Q。

（出所）Consensus Economics「コンセンサス・フォーキャスト」、総務省、Bureau of Labor Statistics、Eurostat、Office for National Statistics

図表 11　議論の概要

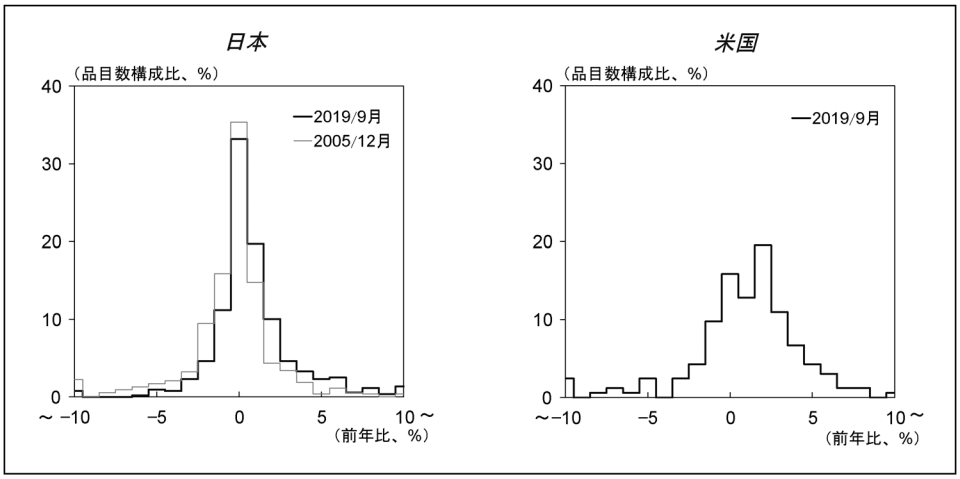


図表 12　実質金利



（注）各年限の実質金利は、対応する年限の国債利回りから予想物価上昇率（日本銀行スタッフによる推計値）を差し引くことにより算出。
（出所）日本銀行、QUICK「QUICK 月次調査＜債券＞」、Consensus Economics「コンセンサス・フォーキャスト」、Bloomberg

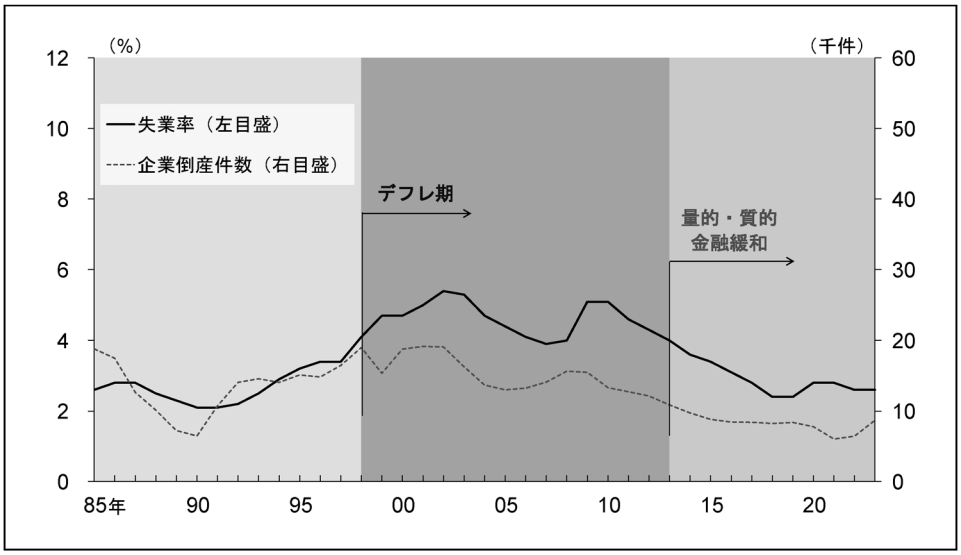
図表 13　CPI の品目別変動分布



（注）日本は、生鮮食品及びエネルギーを除く総合指数ベース。米国は、エネルギーを除く総合指数ベース。

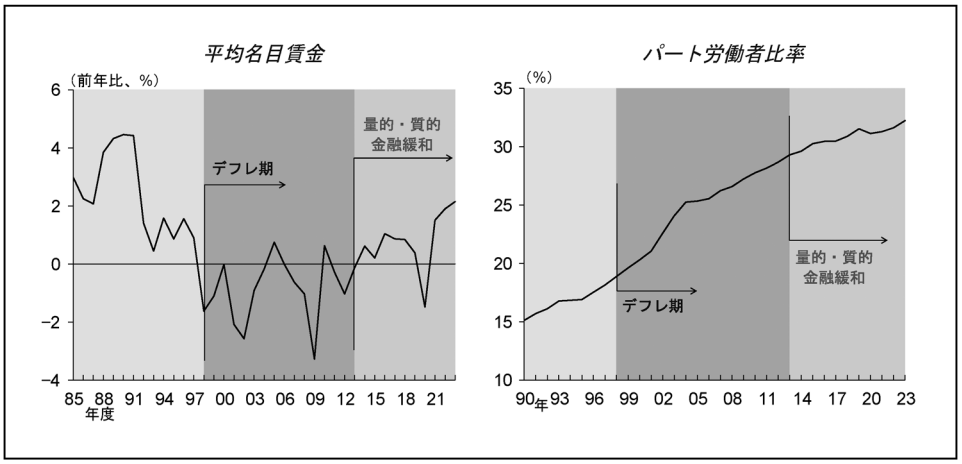
（出所）総務省、Bureau of Labor Statistics

図表 14　失業率と企業倒産件数



（出所）総務省、東京商工リサーチ

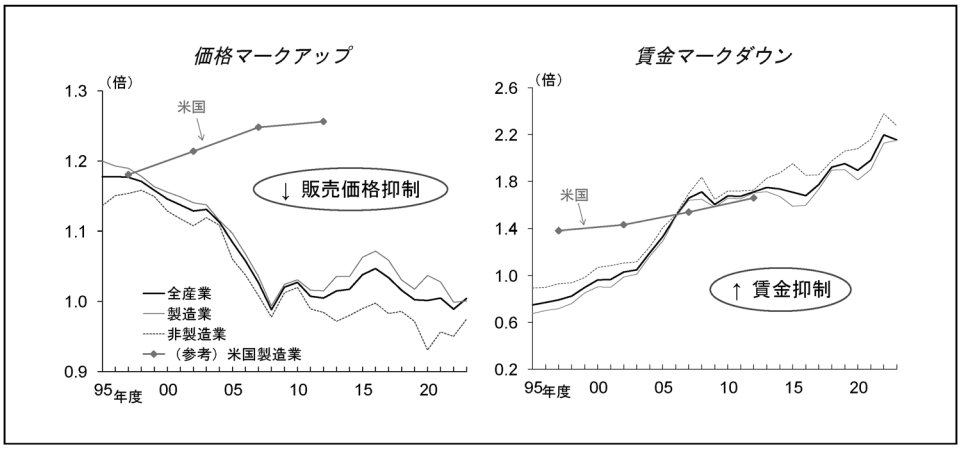
図表 15　平均名目賃金とパート労働者比率



（注）左図は、1990 年度以前は 30 人以上の事業所、1991 年度以降は 5 人以上の事業所を対象とする現金給与総額（毎月勤労統計）。2016 年度以降は共通事業所ベース。2023 年度は、2023/4 月から 2024/2 月までの値。

（出所）厚生労働省

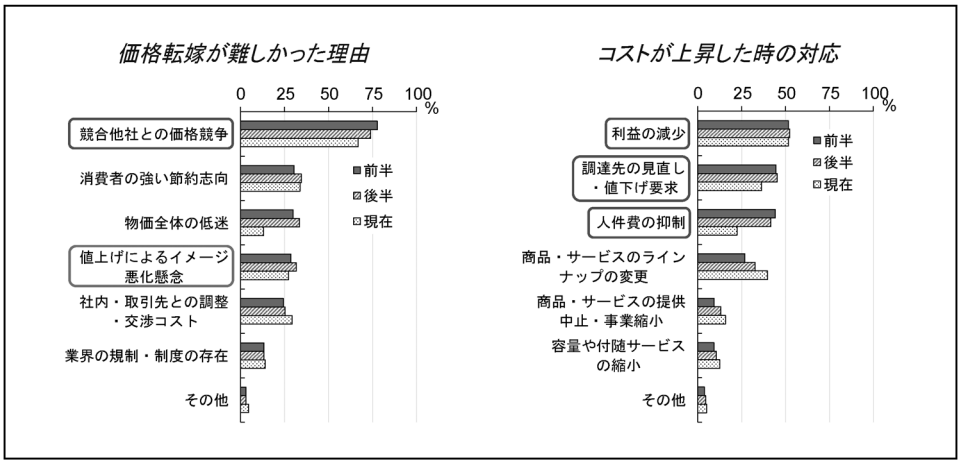
図表 16　価格マークアップと賃金マークダウン



（注）価格マークアップ・賃金マークダウンは、日本政策投資銀行「企業財務データバンク」の個社データを用いた青木・高富・法眼［2023］の手法を参考に推計したもの。米国製造業は Yeh *et al.* [2022] をもとに計算。直近の 2023 年度は、2023/4～12 月の値。

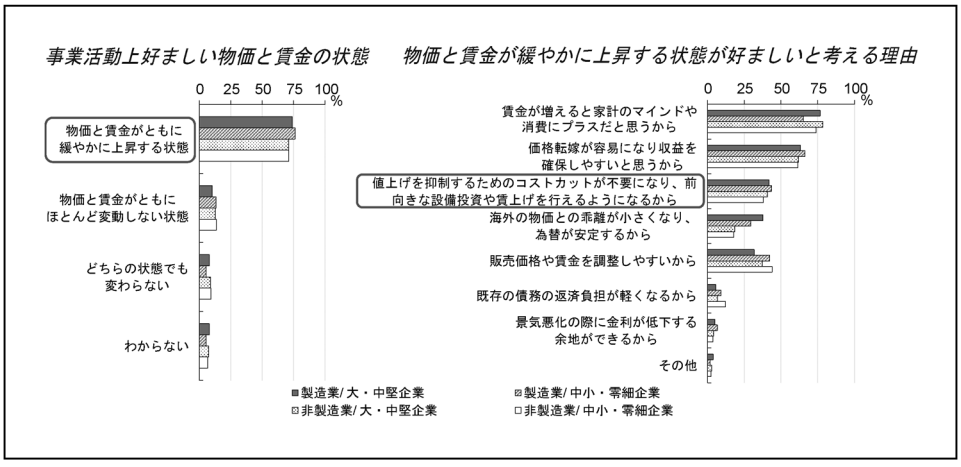
（出所）内閣府、日本政策投資銀行、財務省、経済産業研究所、Yeh *et al.* [2022]

図表 17　企業部門への大規模アンケート（1）



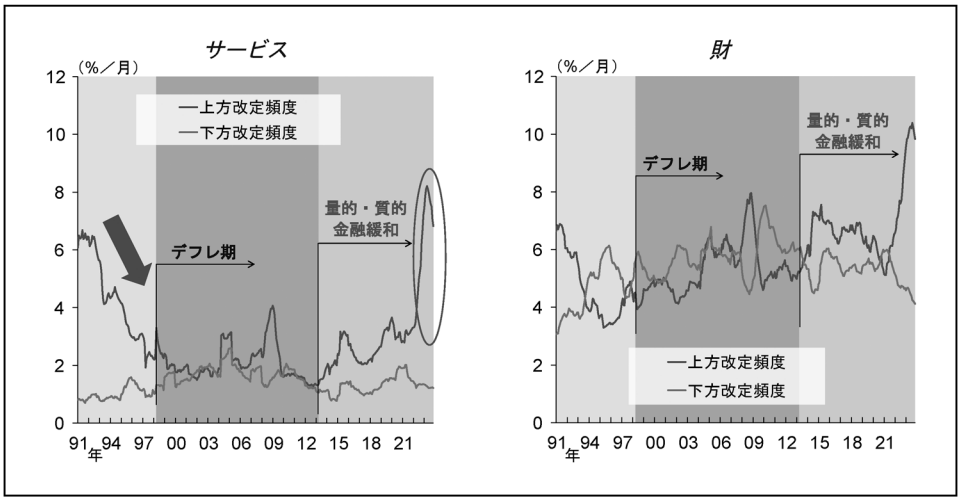
（注）1990 年代半ばからの過去 25 年を以下の 3 期間に分けたときの回答結果：「前半」は 1990 年代半ば～2000 年代頃、「後半」は 2010 年代頃、「現在」は過去 1 年間程度の期間。
（出所）日本銀行

図表 18　企業部門への大規模アンケート（2）



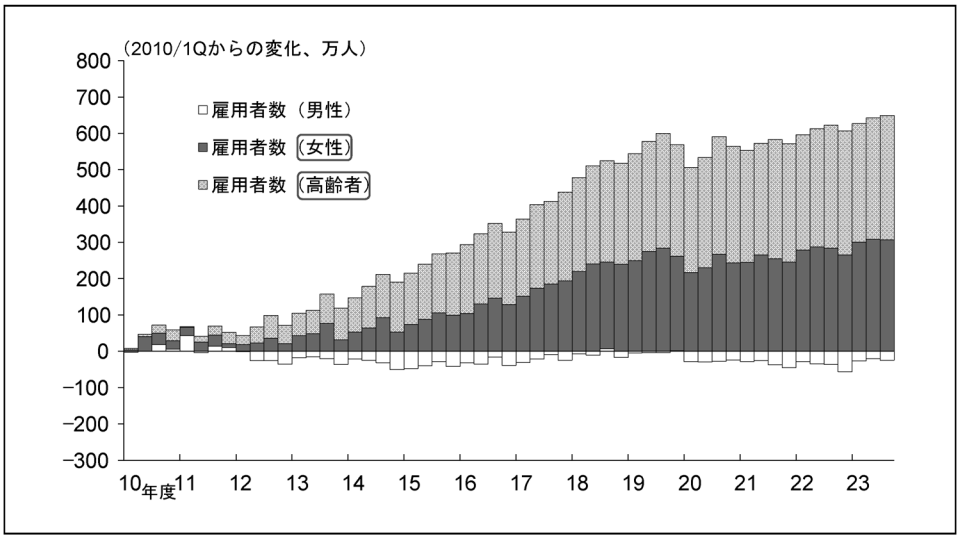
（注）右図は、左図において「物価と賃金がともに緩やかに上昇する状態」を好ましいと回答した企業に占める比率。
（出所）日本銀行

図表 19　価格改定頻度



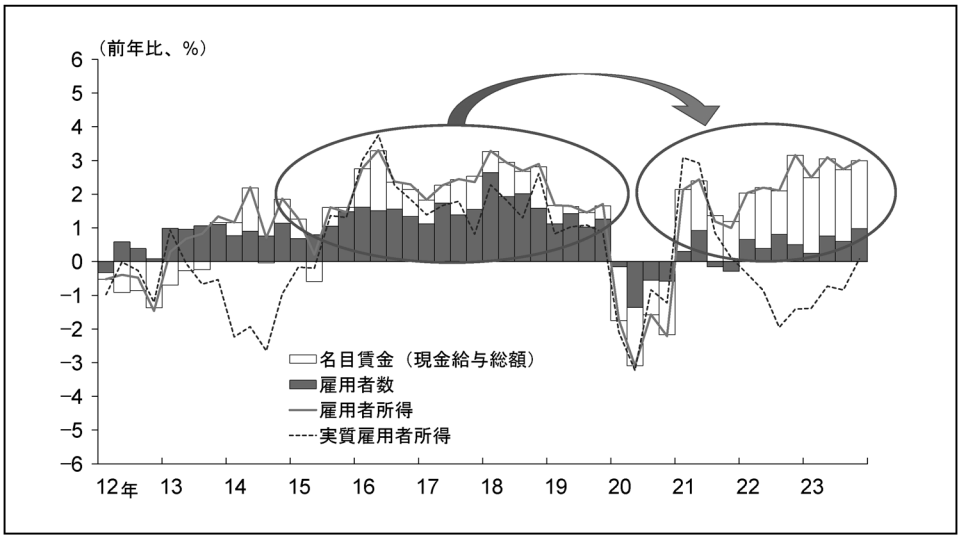
（注）品目別・都市別の平均価格が前月から変化した割合（後方 12 か月移動平均）。生鮮食品、電気・都市ガス・水道、家賃を除く。消費税増税時期やセール等による一時的な価格変動を除く。
（出所）総務省

図表 20　「量的・質的金融緩和」導入以降の労働市場（1）



（注）女性および男性は 15～64 歳、高齢者は 65 歳以上。
（出所）総務省

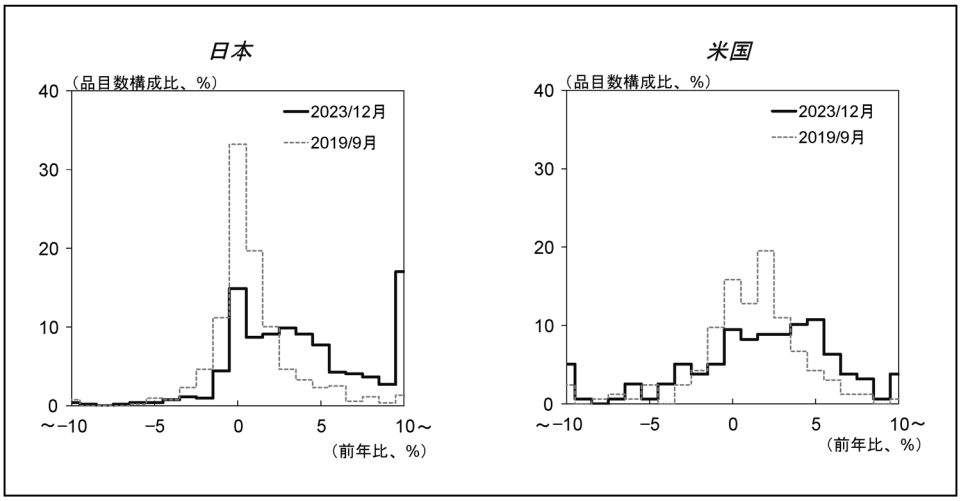
図表 21　「量的・質的金融緩和」導入以降の労働市場（２）



（注）各四半期は、1Q: 3〜5 月、2Q: 6〜8 月、3Q: 9〜11 月、4Q: 12〜2 月。雇用者所得＝名目賃金（毎月勤労統計）×雇用者数（労働力調査）。毎月勤労統計の 2016/1Q 以降は、共通事業所ベース。雇用者所得の実質値は、CPI（除く持家の帰属家賃）を用いて日本銀行スタッフが算出。

（出所）厚生労働省、総務省

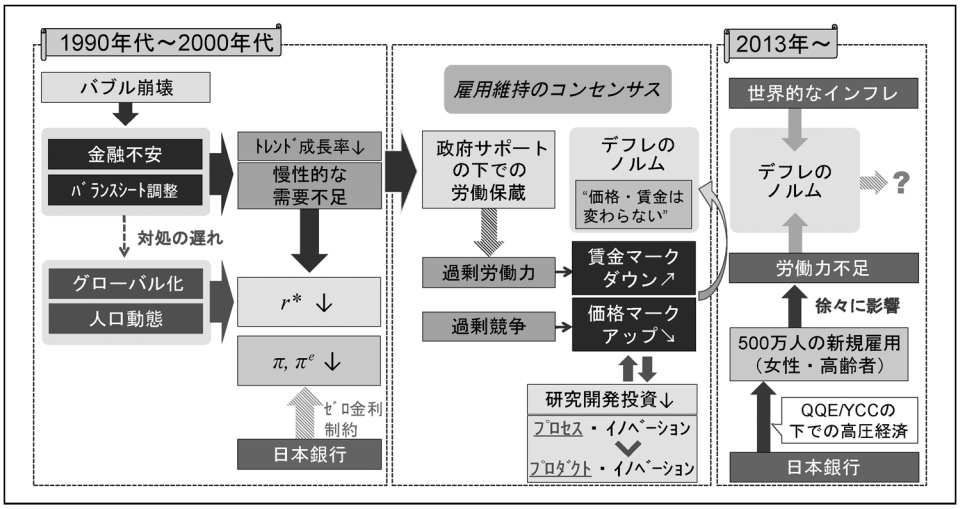
図表 22　CPI の品目別変動分布



（注）日本は、生鮮食品及びエネルギーを除く総合指数ベース。米国は、エネルギーを除く総合指数ベース。

（出所）総務省、Bureau of Labor Statistics

図表 23　議論の概要（全体図）



戦前日本の国債管理政策：国債整理基金・預金部・日本銀行による国債価格支持政策

永廣（えひろ）　顯（あきら）

要　旨

国債管理政策の役割の 1 つである国債の価格支持に関して、戦前の日本の国債流通市場において国債整理基金・預金部・日本銀行が担った役割について考察し、国債の価格支持を目的とする国債流通市場からの国債買入れの主たる担い手の変化の過程やその背景、政策主体における国債買入れについての認識、判断を明らかにすることが本稿の課題である。第一次世界大戦後の日本では、国債の償還政策が積極的であった時期には、大部分を国債流通市場からの買入れとする国債整理基金からの償還が増額され、国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手は大蔵省が管理する国債整理基金であった（1928～30 年）。1931 年以降、国債の償還政策は消極的なものとなって国債整理基金による国債買入れは減退し、預金部・日本銀行による国債買入れもほとんど実施されず、国債流通市場からの国債買入れにより直接的に国債の価格支持を図ることは困難な状況となったが、かわりに実施された国債優遇策が間接的に国債の価格支持の機能を果たした（1931～32 年）。その後、大蔵省は、国債流通市場からの国債買入れによる国債の価格支持の担い手を預金部に求め、預金部による国債の価格支持を目的とした国債買入れが行われた（1936 年）。一方、日本銀行は、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念から国債買入れについてはできれば避けたいと考えていたが、1937 年以降、日本銀行信用の膨張にともなうインフレへの懸念が弱まる中で、資金の運用余力に限界があった預金部にかわって国債の価格支持の主たる担い手となった。

キーワード：　国債管理政策、国債価格支持政策、国債流通市場、国債整理基金、預金部、日本銀行、国債買入れ

本稿は、筆者が日本銀行金融研究所の国内客員研究員の期間に行った研究をまとめたものである。金融研究所のセミナーにおいては、鎮目雅人教授（早稲田大学）をはじめ、参加者から数々の有益なコメントをいただいた。貴重なコメントをくださった各氏に感謝申しあげる。ただし、本稿に示されている意見は、筆者個人に属し、日本銀行の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りは、すべて筆者個人に属する。

永廣　顯　甲南大学経済学部教授（E-mail: ehiro@konan-u.ac.jp）

1. はじめに

国債管理政策については、財務省によると、「できるかぎり財政負担の軽減を図りながら、国の公的債務（国債、政府短期証券、借入金、政府保証債務及び交付国債）が国民経済の各局面において無理なく受け入れられるよう、国債の発行、消化、流通及び償還等の各方面にわたり行われる種々の政策」[1] と定義されている。その中で、国債市価の下落に対して価格支持を行い、国債の発行条件を有利にして国債の安定消化と財政負担（利払費の負担）の軽減を図ることは国債管理政策の役割の1つであるといえる。

本稿では、国債管理政策の役割の1つである国債の価格支持に関して、戦前の日本の国債流通市場において国債整理基金・預金部・日本銀行が担った役割について考察する。ここでは、1904年の日露戦争時から1940年までの国債流通市場において、国債市価の下落が大きな問題となった3つの時期（1928～30年、1931～32年、1936～37年）に特に焦点を当てて検討する。

戦前の日本の国債発行市場についてみると、第一次世界大戦中から戦後にかけて、経済社会基盤の拡大と軍備増強の財源として新規国債の発行が増加し、その主な発行方法は、有力銀行で結成された国債引受シンジケート銀行（シ団銀行）が中心となって国債を引き受ける公募、日本銀行がいったん政府から引き受けた国債を郵便官署に委託して郵便局の窓口を通じて個人向けに売り出す郵便局売出し、郵便貯金を主たる原資として受け入れた預金部が国債を引き受ける預金部引受けであった。1931年9月の満州事変の勃発以降は、戦局の拡大による巨額の戦費調達のために新規国債の発行が急増し、発行方法の中心は日本銀行が政府から直接国債を引き受ける日本銀行引受けとなり、郵便局売出しと預金部引受けがそれを補完した（表1）。日本銀行引受けにおいては、日本銀行が引き受けた国債を、漸次、銀行等の民間金融機関や預金部等の政府関係機関に売却する方法（売りオペ）がとられた。

こうした国債発行市場の拡大にともない、国債の取引所市場での価格形成・公示機能の向上を目的として国債流通市場が整備された。1920年に東京と大阪の株式取引所内に国債市場が開設され、1925年からは東京の国債市場で国債長期清算取引が開始された（大阪では1926年から開始）。国債流通市場の整備により、取引所市場での国債の取引高は著しく増加し、1940年にピークを迎えた。しかし、戦時における経済統制の強化とともに国債の取引は著しく減退し、1943年には国債長期清算取引が廃止された。したがって、ここでは、国債流通市場が拡大傾向にあった1940年までを考察の対象とする（表2）。

1 財務省理財局［2024］3頁。

表 1　新規国債の発行方法（1917～45 年度）

（単位：百万円）

年度	新規国債発行額	公　募	郵便局売出	預金部引受	日本銀行引受	その他
1917	36.4	33.4		3.0		
1918	107.1	101.9		1.2		4.0
1919	211.9	211.9				
1920	305.2	199.9	70.0	29.0		6.2
1921	349.9	181.7	63.0	35.0	50.0	20.2
1922	183.9	121.8	50.0			12.0
1923	79.1	11.4	40.0	24.1		3.5
1924	290.0	115.5	40.0	130.0		4.5
1925	90.0		60.0			30.0
1926	97.0		40.0	40.0		17.0
1927	182.0	60.0		122.0		
1928	151.0	70.0		78.5		2.5
1929	161.9			161.9		
1930	64.5			59.5		5.0
1931	191.2			191.2		
1932	772.3			67.0	682.3	23.0
1933	839.7			86.8	752.8	
1934	830.0			152.0	678.0	
1935	761.0			100.0	661.0	
1936	685.0			120.0	565.0	
1937	2,230.0		118.7	350.0	1,661.2	100.0
1938	4,530.5		475.0	780.0	3,275.4	
1939	5,516.5		496.6	1,500.0	3,519.8	
1940	6,884.5		601.1	1,890.0	4,393.3	
1941	10,191.0		722.0	2,150.0	7,318.9	
1942	14,259.0		1,240.5	3,350.0	9,668.5	
1943	21,147.0		1,204.2	6,000.0	13,942.7	
1944	30,076.3		584.8	10,400.0	19,091.4	
1945	28,111.2		61.0	11,859.0	16,191.2	

備考：歳出の財源となる新規国債のみ。
資料：大蔵省［1953］46 頁

表２　内国債の取引所取引（1917～45 年）

（単位：百万円）

年	取引高		実物取引（現物取引）	長期清算取引（定期取引）	内国債の年度末残高
	総額	対年度末残高			
1917	54.3	4.0%	54.3	—	1,359.9
1918	31.8	1.8%	31.8	—	1,740.6
1919	4.4	0.2%	4.4	—	1,966.7
1920	32.0	1.4%	32.0	—	2,352.8
1921	245.2	9.0%	245.2	—	2,718.1
1922	161.6	5.4%	161.6	—	2,983.3
1923	136.4	4.4%	136.4	—	3,108.5
1924	178.7	5.3%	178.7	—	3,356.2
1925	282.8	8.0%	250.1	32.7	3,519.8
1926	320.4	8.6%	193.6	126.8	3,710.5
1927	551.6	14.0%	436.2	115.4	3,944.4
1928	1390.0	31.7%	973.3	416.7	4,379.9
1929	742.5	16.5%	435.7	306.8	4,512.6
1930	643.7	14.4%	372.8	270.9	4,476.7
1931	1074.0	22.8%	316.1	757.9	4,715.0
1932	911.0	16.1%	205.3	705.7	5,663.7
1933	692.3	10.3%	227.4	464.9	6,724.4
1934	574.9	7.5%	217.5	357.4	7,687.5
1935	1012.2	10.6%	567.7	444.5	9,522.4
1936	1166.7	12.6%	688.7	478.0	9,257.5
1937	1077.4	9.4%	548.2	529.2	11,516.9
1938	789.8	4.9%	464.1	325.7	16,065.1
1939	1433.8	6.6%	686.5	747.3	21,628.0
1940	1774.5	6.2%	745.9	1028.6	28,611.2
1941	639.4	1.6%	428.6	210.8	39,248.9
1942	608.4	1.1%	338.5	269.9	54,222.0
1943	483.2	0.6%	373.5	109.7	76,660.6
1944	…	…	…	…	106,744.6
1945	…	…	…	…	139,924.4

備考：1. 1922 年の取引所法改正により、現物取引は実物取引に、定期取引は長期清算取引に名称変更。
2. 東京株式取引所における取引高。

資料：大蔵省［1953］46 頁、東京証券取引所［1970］718～719 頁。

このように国債発行・流通市場が拡大する中で、国債市価の下落は、金融機関や個人による国債の安定消化を困難にし、国債の多くを保有するようになっていた金融機関[2]の損失を意味することになる。そこで、国債の消化促進と金融機関の損失回避のために、国債流通市場からの国債買入れによる国債の価格支持の担い手とされたのが、本稿の考察対象である国債整理基金・預金部・日本銀行であった。

これら3つの公的機関の国債買入れについては、以下のような特徴があった。

国債整理基金は、国債償還のための財源を制度的に確保して計画的な償還を実施する大蔵省所管の特別会計であった。国債の価格支持を目的として国債流通市場（取引所市場）からの買入償還が行われたが、買入償還は償還政策の動向に左右された。

預金部は、国債整理基金と同様に大蔵省所管の特別会計であり、郵便貯金を主たる原資として受け入れ、国債、地方資金、生産力拡充資金等に運用した。資金運用においては、1925年制定の預金部預金法の第4条に規定された「国家公共の利益」と「有利確実」の2つの原則との整合性が問われ、預金部が受け入れた資金と払い出した資金の差額である運用余力の制約を受けた。国債運用の方法には、新規国債の引受け、売りオペに対応した国債買入れ、国債流通市場（取引所市場）からの国債買入れがあり、国債流通市場からの国債買入れは国債の価格支持を目的として行われた。

日本銀行は、物価の安定を目的として通貨供給量の調節を行う金融政策の主体である。したがって、国債買入れは、本来、物価の安定を目的とした通貨供給量の調節のために行われるが、国債の価格支持を目的とした国債買入れが行われて日本銀行信用が膨張することになると、金融引締政策と矛盾が生じる可能性があった。

戦前の日本の国債管理政策[3]の中で、国債の価格支持を目的として国債整理基金・預金部・日本銀行が国債買入れを実施していた事実は、これまでの研究で明らかになっている[4]。また、国債整理基金・預金部・日本銀行による国債買入れにつ

2 金融機関の内国債保有高は、1919年末の8億9,300万円から1926年末には22億円に急増し、内国債残高に対する割合も1919年末の45％から1926年末には60％に上昇した。金融機関のうち、特に内国債保有高が増加し、内国債残高に対する割合が上昇したのは、普通銀行（1919年末：4億500万円、20％→1926年末：9億5,500万円、26％）と預金部（1919年末：1億300万円、5％→1926年末：4億1,700万円、11％）であった（大蔵省昭和財政史編集室［1954］22〜24頁）。

3 戦前の日本の国債管理政策については、高橋財政における国債管理政策を体系的に論じた中島［1977］、1930年代の国債管理政策と対外金融との関係を論じた伊藤［1989］、明治初期以降の金融政策と国債管理の関係を論じた鎮目［2023］の研究がある。

4 大蔵省昭和財政史編集室［1954］、志村［1980］、日本銀行百年史編纂委員会［1984］、釜江［2012, 2016, 2021］。

いて、個別具体的に分析・考察した研究もある[5]。しかし、国債買入れの主たる担い手には変化があったと推察されるが、その変化の過程や背景、さらには、政策主体である国債整理基金・預金部・日本銀行それぞれが、国債の価格支持を目的とした国債買入れについてどのように認識、判断していたのかについては明らかになっていない[6]。

そこで、国債流通市場に関する資料やデータは非常に少ないという制約はあるが、本稿では、現時点で入手可能である第一次資料等を利用し、戦前の日本の国債流通市場において国債整理基金・預金部・日本銀行が担った役割について考察しつつ、国債の価格支持を目的とする国債流通市場からの国債買入れの主たる担い手の変化の過程やその背景、それぞれの政策主体における国債買入れについての認識、判断を明らかにしていくことにしたい。

2. 1928〜30 年：国債整理基金による国債の価格支持

(1) 国債整理基金の設置と国債償還政策の展開

本節で明らかにするように、1928〜30 年の国債の価格支持を目的とした国債流通市場からの国債買入れの主たる担い手は国債整理基金であったが、まずは本項で、国債整理基金の設置とその後の国債償還政策の展開について概観しておく。

1904〜05 年の日露戦争時の巨額の軍事国債の発行と累増により国債市価が下落傾向にあり、さらに、軍事国債の大部分が外貨債であったことから、国債市価を維持して国内外の公信用を高めておくことが必要となった。このため、国債残高の圧縮による将来の財政負担の平準化を図り、国債の規則的な償還方針を明らかにした 1906 年の国債整理基金特別会計法の制定により国債整理基金が設置され、国債整理基金には、毎年度、一般会計から償還財源を繰り入れることになった。

その後、第一次世界大戦後の軍備増強のための財源を捻出するために 1920 年度に償還財源の繰入れを停止したが、1922 年の全国手形交換所連合会からの繰入れ再開の建議に対応して 1923 年度に繰入れを復活し、さらに、関東大震災にともなう復旧・復興費の財源として国債が累増したため、国債償還の促進を図り、1927 年

5 国債整理基金については武田［2012］、預金部については大蔵省昭和財政史編集室［1962］、中島［1982］、迎［1991］、永廣［1994, 2023］、平山［2021, 2023］、日本銀行については日本銀行百年史編纂委員会［1984］がある。

6 戦後の日本では、1970 年代後半以降に国債の市況対策として国債整理基金・資金運用部（戦前の預金部）・日本銀行による国債流通市場からの国債買入れが実施されている。これについて分析・考察した研究に、山田［1990］、宮島［1996］、財務省財務総合政策研究所財政史室［2004］がある。

度には償還財源に一般会計剰余金の繰入れを追加した。しかし、昭和恐慌にともなう税収の減少によって生じた1931年度の一般会計決算における歳入不足に対応して1931年度に繰入れを一部停止し、続く1932年度の一般会計予算においても著しい歳入不足となる一方で、満州事変の勃発により急増した軍事費の財源を捻出して新規国債の増発の抑制を図るため、1932年度からは定率繰入れの繰入基準を3分の1に圧縮するとともに一般会計剰余金の繰入れを停止した[7]。

このように、国債整理基金の設置後は、国債整理基金への償還財源の繰入れを増額する積極的な償還政策と繰入れを減額・停止する消極的な償還政策が繰り返された[8]。その中で、国債整理基金は、「市場の景況に応じ随時低価を以て証券を買収し、以て国債の銷却を行ふことは、洵に財政上巧妙の措置と謂ふべく、且つ此の方法たるや一面証券価格の低落を防止する点に於ても、亦大に効力を有すべきは疑を容れざる所なり」[9]として、国債流通市場からの買入れ償還を行い、国債の価格支持を図っていたのである。

(2) 国債整理基金による国債流通市場からの国債買入れ

1928年8月頃から、金解禁への懸念、金解禁後の金利高騰への不安等から国債市価が急落した（表3）ことに対応し、償還政策が積極的であった1929年度から30年度にかけて、大部分を国債流通市場からの買入れとする国債整理基金からの償還が増額された（表4）。その結果、1931年8月頃まで国債市価は安定して推移した（表3）。一方、預金部と日本銀行による国債流通市場からの国債買入れは国債整理基金に比べて少額であったと推察され[10]、この時期の国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手は国債整理基金であった。

日本銀行は、国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手は国債整理基金であり、また、国債の価格支持のためには国債買入れもやむをえないが、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念からできれば避けたいと考えていた。

1929年10月10日の日本銀行本支店事務協議会で土方久徴総裁は、「公債ハ年ノ初メニ下ツタガ其下リ方ハ余リヒドクナク今デハ一時ヨリ上向イテ居ル、コレハ政府ガ今申上ル様ナ国債政策ニ依リ減債基金ヲ必要ニ応ジテ使フコトヲ声明シ又実際

7 北村［1979］。
8 加藤［1963］。
9 大蔵省［1936］459頁。
10 資料やデータの制約・限界はあるが、1930年度の預金部による国債買入れ額は1,000万円（大蔵省主計局［1966］212頁）、1929年中の日本銀行による国債買入れ額は3,468万円（調査局財政金融係、「自大正十三年至昭和四年各月別　本行所有邦貨国債売買高調」、1929年、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料3041）であった。

表 3　内国債相場（1928～32 年）

（単位：円）

年	月	最高	最低	年	月	最高	最低	年	月	最高	最低	年	月	最高	最低	年	月	最高	最低
1928	1	95.05	93.55	1929	1	96.30	93.85	1930	1	92.95	92.40	1931	1	92.20	89.75	1932	1	88.00	86.65
	2	94.90	94.00		2	96.30	94.20		2	92.50	92.25		2	93.10	91.65		2	87.70	86.30
	3	94.25	93.25		3	94.95	94.40		3	92.55	92.15		3	95.45	93.15		3	88.25	86.50
	4	94.80	93.65		4	94.55	90.90		4	92.50	92.30		4	94.65	93.70		4	88.20	87.20
	5	96.50	94.45		5	92.15	90.50		5	92.50	92.15		5	96.30	94.10		5	89.70	88.15
	6	97.10	95.80		6	93.05	92.10		6	92.70	90.70		6	97.30	96.20		6	94.00	89.45
	7	98.00	96.40		7	93.60	92.10		7	92.25	91.65		7	98.35	95.40		7	94.75	93.20
	8	96.95	93.50		8	92.75	91.90		8	91.80	89.85		8	95.95	94.20		8	96.75	93.20
	9	94.80	92.15		9	93.40	92.25		9	90.50	87.75		9	95.60	89.50		9	97.15	96.10
	10	93.20	89.30		10	93.15	92.50		10	91.05	86.30		10	91.00	87.50		10	98.65	96.65
	11	93.70	90.95		11	92.80	92.45		11	91.90	90.75		11	89.15	86.20		11	99.25	98.20
	12	94.50	93.40		12	92.55	92.40		12	92.00	90.90		12	88.20	86.15		12	99.50	98.50

備考：東京株式取引所の甲号五分利公債実物相場。
資料：日本銀行調査局［1964］31～33 頁（日本銀行調査局、「日本銀行調査月報付属　統計」）

下半季少シ前カラ減債基金ヲ使用シテ居ル為メデ、此所丈ノ数字デスガ、今年ノ春以来其額ハ三、四千万円ニ上ツテ居ル。此主義ハ私共トシテハ始終続ケ度ク、殊ニ前内閣ノ時ニハ減債基金ハ金解禁後ニ於テ之ヲ使用スルトノ説ニヨリ国債ハ弱気ニ傾イテ居タガ現政府ハ其時々ノ情況ニ照ラシテ減債基金ヲ使用セサルコト、ナツテ居ルカラ此ノ後ハ余リ相場ノ下落スルコトナク今ノ利廻リ五分六厘程度ヲ維持シテ行クコト、思フ」[11]、1930 年 10 月 14 日の日本銀行本支店事務協議会で堀越鉄蔵理事は、「国債市価ノコトハ総裁カラ御話ガアリマシタガ、下リサウニナレバ減債基金デ買フ。ダガ大勢上ヂリヂリ下ル、大勢カラ来ルノハ止メニクイ。日本銀行ノ資金デ買ハシテモイヽ、遣ルカモ知レンガ今カラ何トモ云ハレマセン」[12] と説明し、日本銀行による国債買入れの可能性を否定しなかった[13] が、国債の価格支持を

11 「昭和四年十月十日　本支店事務協議会席上ニ於ケル土方総裁演説」、審査部、『昭和 4 年度支店長会議書類』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 3753。

12 「昭和五年十月　本支店事務協議会　第四日（火曜日）十月十四日　午後一時三十分開会」、審査部、『自昭和 5 年春季至昭和 5 年秋季　本支店事務協議会書類』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 3941。

13 1929 年 10 月 10 日の日本銀行本支店事務協議会で君島岡山支店長が、「度々新聞テ見ルノハ日本銀行ハ売戻条件付デ国債ヲ買フト云フコトデス、之レハ田舎デハ大変良イコトノ様ニ伝ヘテ居ル」と発言したのに対し、土方総裁は、「未ダ決ツテハ居ラヌガ世間デ云フ日本銀行ノ売戻条件付買入ハ、トテモ駄目デス」、堀越理事は、「新聞ニ出マスネ、私モ或銀行カラ聞カレマシタガ、アレハ間違ツテ出マシタ」と回答し、日本銀行による（売戻条件付きでの）国債買入れを実施しないことを明言していた（「昭和四年十月　本支店事務協議会　第一日（木曜日）十月十日　午後一時五十分開会」、前掲注 11、『昭和 4 年度支店長会議書類』）。

表 4　国債整理基金における償還財源の繰入れと償還（1923〜41 年度）

（単位：千円）

年度	国債整理基金	前年度より繰越額	本年度繰越額	償還額	償還額のうち国債市場等より内国債買入額		翌年度繰越額
					内国債買入額	対償還額 (%)	
1923	42,000	—	42,000	41,646	21,582	51.8%	354
1924	44,535	354	44,180	40,641	33,074	81.4%	3,894
1925	52,586	3,894	48,692	52,586	27,080	51.5%	—
1926	50,225	—	50,225	45,641	17,856	39.1%	4,584
1927	103,139	4,584	98,554	93,393	29,472	31.6%	9,746
1928	94,787	9,746	85,040	28,076	24,371	86.8%	66,711
1929	143,890	66,711	77,179	97,384	90,644	93.1%	46,506
1930	137,833	46,506	91,328	104,334	98,719	94.6%	33,499
1931	60,318	33,499	26,819	55,789	42,698	76.5%	4,529
1932	29,573	4,529	25,044	23,373	7,899	33.8%	6,200
1933	41,491	6,200	35,291	16,340	5,198	31.8%	25,151
1934	73,861	25,151	48,710	20,224	—	—	53,637
1935	95,813	53,637	42,176	67,375	1,028	1.5%	28,437
1936	64,111	28,437	35,674	46,908	—	—	17,203
1937	55,312	17,203	38,109	13,883	—	—	41,429
1938	82,319	41,429	40,890	14,390	—	—	67,929
1939	117,594	67,929	49,664	13,555	—	—	104,039
1940	107,109	104,039	67,071	15,202	—	—	155,907
1941	246,862	155,907	90,955	6,843	—	—	240,018

資料：理財局国庫課［1943］205 頁

目的とした国債買入れの主たる担い手は国債整理基金であることを明らかにしていた[14]。

また、土方総裁は、1930 年 10 月の日本銀行本支店事務協議会で、「世上では此際市価維持の為め本行勘定の買入れをも併せ行つては何うかと云ふやうな説を耳にす

14　1930 年 5 月 16 日の日本銀行本支店事務協議会で青木名古屋支店長が、「此頃公債ノ安イノハ外債投資ノ関係デスカ」、「新聞デハ減債基金ノ運用ハ止メラレタトアリマスガ」と発言したのに対し、土方総裁は、「減債基金ノ運用ニヨツテ安定シテ居ル様ニ思フ」、「ソンナコトハナイ」と回答し、国債の価格支持を目的とした国債整理基金による国債買入れが機能していることを明らかにしていた（「昭和五年五月　本支店事務協議会　第一日（金曜日）五月十六日　午後二時十五分開会」、前掲注 12、『自昭和 5 年春季至昭和 5 年秋季　本支店事務協議会書類』）。

る、乍併本行としては公債の市価維持と共に又一方通貨関係をも考慮しなければならぬので、目下未だ買入れを実行する考はないが、今後若し不当の値下りを惹起するが如きことあらば適当の処置を採ることは考へて居る」[15]、同月 13 日の日本銀行本支店事務協議会で、「日本銀行ハプライベート・エコノミーデ一億円位ハ持ツテモ良イカモ知レヌガ、ソノ高ハ非常ニ六ケ敷イ。然シソレ丈ケ大キナ言葉デ言ヘバインフレーションヲ起ス様ナ副作用ヲ生ズル。其他ニハ減債基金ノ活用、預金部ノ買入、ソノ他ニ考ヘラレルコトハ生保ノ証券会社ノ様ナ所デモ働イテ呉レルト宜イガ。サウカト言ツテ、吾々ニハ之ヨリ手ガ無イカラ公債ハ駄目ダト云フ訳ニハ行カヌ」[16] と説明し、国債の価格支持のためには日本銀行による国債買入れもやむをえないが、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念からできれば避けたいことを明らかにしていたのである。

3. 1931～32 年：国債優遇策による国債の価格支持

1931 年 9 月の満州事変の勃発とイギリスの金本位制の停止を契機に国債市価が暴落し、その後も、同年 10 月と 11 月の正貨擁護のための公定歩合の引上げ、国債の消極的な償還政策、新規国債の増発の影響を受け、国債市価は低迷した（表 3）。その結果、国債を多く保有するようになっていた金融機関の 1931 年下半期決算において多額の国債の評価損が計上され、シ団銀行では損失補填のための積立金の戻入れが実施された[17]。しかし、この時期の国債市価の暴落、低迷に対し、国債整理基金・預金部・日本銀行による国債の価格支持を目的とした国債流通市場からの国債買入れはほとんど実施されなかった[18]。

国債整理基金においては、1931 年度以降、償還政策は消極的なものとなり、償還は減額され、国債流通市場からの買入れも減退していた（表 4）。

また、当時の高橋是清大蔵大臣は、国債整理基金による国債の価格支持を目的とした国債買入れには懐疑的であった。

高橋蔵相は、1932 年 3 月 22 日の第 61 回帝国議会で、「政府ガ減債基金ヲ以テ公

15 「昭和五年十月　本支店事務協議会席上総裁演説要旨」、前掲注 12、『自昭和 5 年春季至昭和 5 年秋季　本支店事務協議会書類』。

16 「昭和五年十月　本支店事務協議会　第三日（月曜日）十月十三日　午後一時四〇分開会」、前掲注 12、『自昭和 5 年春季至昭和 5 年秋季　本支店事務協議会書類』。

17 日本銀行調査局［1932a］2 頁、同［1932b］2 頁。

18 国債市価が暴落、低迷したにもかかわらず、国債整理基金・預金部・日本銀行による国債の価格支持を目的とした国債買入れがほとんど実施されなかった背景には、佐藤［2016］が指摘しているように、1931 年 9 月のイギリスの金本位停止後の「ドル買い」問題を機に、1931 年末にかけて大蔵省・日本銀行・シ団銀行の信頼関係が大きく崩れ、協働して事態に対処することがもはや不可能となっていた状況もあったと考えられる。

債ヲ市債ヲ市場カラ買入レテ、値段ヲ釣上ゲテ、其値段デ公債ヲ発行スル、其後ニナルト何時デモ下リ、公債所有者ハ非常ニ迷惑スル、随テ一般ノ公債ニモソレガ響クノデアリマス」[19]、同年 6 月 7 日の第 62 回帝国議会で、「政府ガ新ニ公債ヲ発行スル、若クハ公債ノ借換ヲスルト云フ時分ニハ、其発行ノ価格ヲ成ベク良クスル為ニ、一時市場カラ公債ヲ買上ゲルト云フ風ニ主ニ用ヒラレテ居ッタ、公債ヲ市場カラ買上ゲルト云フコトニ付テハ、之ニ伴フ弊害モアル、従来政府デハ其方法ニ付テハ大ニ苦心ヲシテ、色々試ミタノデアリマスルガ、唯一時其時値ガ上ルニ過ギナイ、借換ヲ了ルカ、発行ヲ了レバ、又公債ノ値ガ下ル、斯ウ云フ訳デアッテ、減債基金ト云フモノハ、本当ニ其用ヲ為シテ居ラヌト云フ嫌ガアル」[20] と説明し、国債整理基金の国債買入れによる国債の価格支持の効果は一時的であるとの認識を示していたのである。

預金部においては、預金部資金の主たる原資である郵便貯金の残高は増加傾向にあったものの、満州事件費公債を含む 1931 年度の新規国債の追加発行分の全額預金部引受けに加え、昭和恐慌により不振に陥っていた中小商工業の救済を目的に、1932 年 3 月に 3,276 万円、同年 5 月には 1 億 8,076 万円の地方資金の融通が決定されたため、資金の運用余力は限界となっていた[21]。したがって、国債買入れは困難であったと考えられる[22]。

日本銀行は、国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手は国債整理基金であり、また、国債の価格支持のためには国債買入れもやむをえないが、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念からできれば避けたいと考えていた。それに加えて、国債市価の下落をもたらす可能性があっても、正貨擁護のために公定歩合の引上げを優先していた。

1931 年 10 月 20 日の日本銀行本支店事務協議会で堀越理事は、「公債ノ価格ハ変動セヌ様ニ減債基金ガ有ルノデ買ツテ居マシタガ前途下ルダラウト云フ空気ノアルノヲ日本銀行デ買ツテ行ツテモ上ゲルコトハ六ケ敷イノデ近頃デハ日銀デハソウ買出シテ上ゲル方針ハ取リマセンガ余リ下ルコトガ有レバ何トカスル程度デヤツテ居マス、之レガ年末ニデモ入レバ別デスガ今ノ処デハ其ノ方針デ大勢ガ赴イテ居ル場合ニハ買出動ヲシテモソノ効果ガ少イ、然シ変動ハ洵ニ困ルコトデスカラヤリマスガ然シ高値ヲ維持スルトカ反発ヲ考エテハ居ナイ」[23] と説明し、国債買入れの可能

19 『第六十一回帝国議会衆議院満州事件ニ関スル経費支弁ノ為公債発行ニ関スル法律案外五件委員会議録　第一回』、1932 年 3 月 22 日。

20 『第六十二回帝国議会衆議院昭和七年法律第一号中改正法律案外四件委員会議録　第二回』、1932 年 6 月 7 日。

21 永廣［1991, 2013］。

22 預金部による国債買入れ額は、1931 年度が 2,100 万円、32 年度が 500 万円であった（大蔵省主計局［1966］212 頁）。

23 「第二日（火曜日）十月二十日　午後二時十分開会」、審査部、『自昭和 6 年春季至昭和 6 年秋季　本支店事務協議会書類』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 3942。

性を否定しなかったが、国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手は国債整理基金であることを明らかにしていた。

また、1931年10月6日の公定歩合の引上げ時に土方総裁は、「金本位制度維持の為め正貨を擁護せんとする所謂正貨政策の定石は即ち金利の引上なるが故に、日本銀行は唯々此の定石を打ちたるに過ぎず、之に依りて公社債其の他有価証券の相場が或る程度迄下落し、一般金利の昂騰を促すこと丶なるは免れざる所なるべきも、其は日銀の利上を待つ迄も無く、金の流出に因りて当然起るべき現象なるべく、之に依つて幾分資金の海外流出を制限し得べしと期待し居れり」[24]との談話を発表し、正貨擁護のための公定歩合の引上げによる国債市価の下落を容認していたのである。

このように、1931年9月以降の国債市価の暴落、低迷に対し、国債整理基金・預金部・日本銀行が国債流通市場からの国債買入れを実施して直接的に国債の価格支持を図ることは困難な状況にあった。こうした事態に対応し、翌1932年2月に高橋蔵相は、「公債市価の情勢を考へ国債優遇策につき種々研究を重ね出来得る限り取引所の投機により相場の変動を来さないやうな方法をとりたい」[25]との談話を発表していたが、国債優遇策としての日本銀行の国債担保貸出の緩和と「国債の価額計算に関する法律」の施行が、銀行等の国債保有を促進、安定化して間接的に国債の価格支持の機能を果たし[26]、同年7月以降、国債市価は回復、安定した[27]（表3）。

1932年4月に日本銀行は、金融の緩和を図り、融通期間が30日以内の国債担保貸出について、高率適用を免除して最低の公定歩合を一律無制限に適用した。この国債担保貸出の緩和は、当時の金融雑誌であった『銀行通信録』が、期待される効果の1つとして、「各銀行をして支払準備としての国債所有を、従来よりも容易ならしむるに至るべきこと」[28]を挙げていたように、銀行等の支払準備としての国債保有を促進するものでもあった。

また、1932年7月に「国債の価額計算に関する法律」が施行され、財産評価を時価とする商法の規定の特例として、時価ではなく大蔵大臣が告示する標準発行価格

24 「日銀利子引上事情」、東京銀行集会所［1931］63頁。
25 「政府与党の大勝と今後の財政々策」、大阪銀行集会所［1932a］73頁。
26 永廣［1991, 2013］。
27 日本銀行は、1931年12月の金輸出再禁止により金本位制度が放棄され、正貨擁護のための金融引締政策が不要となったことから、高金利の是正を図り、翌1932年3月に公定歩合の引下げを実施した。さらに、金融緩和を図り、同年6月と8月にも公定歩合の引下げを実施したが、8月の公定歩合の引下げ時に大蔵省が、「当面の影響としては公債が相当値上りを来すであらう」（「朝鮮銀行及台湾銀行の第三次利下げ」、大阪銀行集会所［1932b］59頁）との談話を発表していたように、こうした低金利政策も間接的に国債の価格支持に寄与していた。
28 「日銀貸出緩和の影響」、東京銀行集会所［1932］70頁。

での国債価額の財産目録への記載が認められた[29]。この法律は、同年 6 月 7 日の第 62 回帝国議会で高橋蔵相が、「此国債優遇法案ト云フモノハ、安心シテ公債ヲ持テルト云フノガ趣意デアリマス、今迄ノヤウニ市価ガ下レバ、其次ノ半期ノ利益ガドウナルカ分ラヌ、ドウシテモ公債ガ高クナル、サウスレバ公債ヲ持ッテ居タイ者モ其時ニ売ル、ソレデ公債ノ市価ト云フモノハ変動ガ激シクナルノデアリマス、此法案ニ依ッテ行ケバ、取得価格マデハ考課状ニ載セルコトガ出来ルカラ、公債ノ市価ガ高クナッテモ安心シテ持ッテ居ルコトガ出来ル」[30] と説明していたように、国債市価の下落による国債の評価損の計上を不要とし、銀行等の国債保有を安定化するものであった。

4. 1936〜37 年：預金部・日本銀行による国債の価格支持

(1) 預金部による国債流通市場からの国債買入れ[31]

1936 年の二・二六事件後に広田弘毅内閣が成立し、馬場鍈一大蔵大臣は前任の高橋蔵相が掲げていた公債漸減主義を放棄して新規国債を増発する財政運営を行った。一方で、軍需産業を中心に民間企業の生産力拡充資金の需要が高まり、銀行等の貸出が増加するにつれて、1936 年 8 月以降、コール・レートも上昇したことから、同年 9 月に発行された三分半利国庫債券の市価が下落し、発行直後の同年 11 月には、一時的ではあったが発行価格である 98 円を割り込むようになった（表 5）。

こうした国債市価の下落に対し、前述のように、国債整理基金において、償還政策が消極的なものとなって償還が減額され、国債流通市場からの買入れも減退していた状況下で、大蔵省では日本銀行による国債の価格支持を目的とした国債買入れが企図されていた。1936 年 3 月 30 日に大蔵省理財局国債課が作成した文書は、「今日国債価格ニハ何等変動ナク従テ日銀ノマーケツトオペレーシヨンハ事実上公債売却ニノミ止レル処将来若シ価格ノ一般的下落等ノ虞アル場合ニハ国債整理基金ノ比較的僅少ナル現状ニ於テハ日本銀行ヲシテ市場ニ出動セシメ国債ノ買入ニ当ラシムルコト必要ニシテ此ノ場合日本銀行モ純営利的立場ヲ第二位ニ置キ国家的見地

29 この法律は、1932 年 5 月に貯蓄銀行協会が行った、「最近当局ニ於テモ国債ハ国家ノ実力ヲ反映スルモノニシテ一般証券市場ノ景況如何ニ依リ其相場ニ著シキ変動ヲ来サシメ之ガ評価ヲ為サシムルハ国債ノ性質上妥当ニ非ズトセラレ之ガ対策御考慮中ナリトノ事ナレバ此際貯蓄銀行ハ国債ニ限リ決算ノ場合ニ於テ其発行価格ヲ以テ評価シ得ルコトトスル等適当ナル対策ヲ講ゼラレ速ニ之ヲ実現セラレムコトヲ望ム」（「陳情書」、貯蓄銀行協会［1932］92〜99 頁）陳情にも対応していたとみられる。

30 前掲注 20、『第六十二回帝国議会衆議院昭和七年法律第一号中改正法律案外四件委員会議録　第二回』。

31 本項は、永廣［1994, 2023］を基礎とし、その後の再検討も踏まえて加筆・修正している。

表 5　内国債相場（1936～37 年）

（単位：円）

年	月	甲号五分利公債		第一回四分利公債		三分半利国庫債券（い号）		年	月	甲号五分利公債		第一回四分利公債		三分半利国庫債券（い号）	
		最　高	最　低	最　高	最　低	最　高	最　低			最　高	最　低	最　高	最　低	最　高	最　低
1936	1	105.85	105.20	98.70	98.65	—	—	1937	1	100.40	100.20	102.15	101.50	98.20	98.00
	2	105.70	105.40	98.70	98.65	—	—		2	100.60	100.40	102.05	101.65	98.25	98.00
	3	103.60	100.95	100.00	98.70	—	—		3	101.30	100.40	102.35	101.90	98.40	98.00
	4	101.30	100.80	103.30	99.90	—	—		4	101.80	101.20	102.25	101.90	98.10	97.80
	5	101.10	100.60	103.05	102.50	—	—		5	101.70	101.45	102.00	100.80	98.00	97.70
	6	101.60	100.95	102.80	102.35	—	—		6	101.70	101.10	101.70	101.15	98.00	97.70
	7	101.90	101.40	102.90	102.50	—	—		7	101.70	101.30	101.60	101.25	97.95	97.90
	8	101.65	101.05	102.70	102.30	—	—		8	101.50	100.75	101.20	100.50	98.05	97.95
	9	101.20	100.50	102.50	101.40	98.80	98.20		9	101.60	100.30	101.45	100.00	98.35	98.05
	10	100.65	100.20	101.70	100.90	98.25	98.00		10	101.75	101.60	101.60	101.30	98.45	98.35
	11	100.40	100.10	101.25	100.70	98.20	97.85		11	101.75	101.65	101.40	101.35	98.45	98.35
	12	100.40	100.10	102.20	101.05	98.25	98.05		12	102.00	101.65	101.90	101.35	98.50	98.40

備考：東京株式取引所の実物相場。
資料：日本銀行調査局［1964］34～37 頁（日本銀行調査局、「日本銀行調査月報付属　統計」）

ヨリ相当ノ犠牲ヲ忍ヒ国債ノ一定価格ニ依ル買入ヲ行フコト必要ナル可シ」[32] と記し、日本銀行による国債買入れの必要性を明らかにしていた。

しかし、日本銀行は、三分半利国庫債券の市価の長期にわたる発行価格割れの可能性は非常に低く、国債の信用力も不変であるとの認識から、発行価格割れに対しては楽観的な態度を表明していた[33]。また、日本銀行は、前述のように、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念から国債買入れをできれば避けたいと考えていたと推察される。そこで、「大蔵省ハ預金部ノ資金ニテ本行（日本銀行―筆者―）ヲ通シ市場ヨリ三分半利国庫債券ヲ買入レ発行価格ノ維持ヲハカルコトニ決シ」[34]、預金部が国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手となり、1936 年 11 月から預金部による国債流通市場からの国債買入れが実施された（実際の国債買入れは日興証券の裁量に委ねられた）。その結果、三分半利国庫債券の市価は、すぐに発行価格である 98 円を回復し、翌 1937 年 2 月には、「本操作（預金部による国債流通市場からの国債買入れ―筆者―）ニ依ラストモ大体発行価格ヲ維持スルニ至」[35] った（表 5）。

32 国債課、「公債政策及低金利政策ヲ中心トスル金融統制策」、1936 年 3 月 30 日、『昭和財政史資料第 7 号第 12 冊』。
33 調査局、「三分半利公債市価の九十八円割れに就て（重役提出書類）」、1936 年 10 月 30 日、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 1909。
34 「預金部資金ニヨル国債ノ市場買入ノ概要」（日本銀行［1962］518～522 頁）。
35 同上。

預金部による国債買入れは、預金部の資金運用における「国家公共の利益」と「有利確実」の2つの原則とも整合的であった。1936年12月に大蔵省理財局が作成した文書
が、「国債ノ価格低落シ其ノ回復捗々シカサルハ動モスレハ国債ノ実勢ヲ疑ハシメ今後ノ国債発行ニ支障ヲ来スノ虞ナシトセザルヲ以テ政府ニ於テ適当ノ対策ヲ講スルノ要アリ又預金部トシテハ比較的安値ニテ国債ヲ買入レ得レハ採算上有利」[36]と記していたように、国債買入れは、国債市価の下落に対応するとともに、預金部資金の運用利回りを向上させていた。

こうした預金部による国債買入れを可能としたのは、主たる原資であった郵便貯金の残高が予想以上に急増したことにあったと考えられる。1936年1月末から同年11月末までの累計で、郵便貯金の残高の増加実績額は増加予定額を1億3,189万円も上回っていた[37]。

また、預金部は、コール・レートの上昇が国債市価の下落の一因となっていたことから、「去ル九月以来短資市場ハ引締ノ市況著シク同月末ニハ翌日物一銭台ヲ二日間現出シ十月末ヨリ十一月始ニ掛ケテハ六日間ニ亘リテ一銭台ノ継続ヲ見延イテ国債相場ノ軟調ヲ招来シタル…（中略）…此ノ儘推移スルトキハ十月末ニ於ケル短資ノ引締ニ鑑ミ十一月末及年末ノ金融ハ相当ニ窮屈トナレリ一時的トハ謂ヘ金利ノ昂騰国債相場ノ低落ヲ惹起スルノ惧少ナカラズ斯クノ如キ事態ハ金融ノ根本基調ニ変化ナシトスルモ之ヲ屢々繰返シ又相当期間継続スル時ハ延テハ一般ノ国債ニ対スル信頼ニモ悪影響ヲ及ボシ今後ノ国債発行ニ対シテ支障トナルノミナラズ一般的ニ金融政策上相当考慮ヲ要スルモノト考ヘラレ又一面預金部ハ郵便貯金ノ増加予定以上ニ多キヲ以テ之ヲ短期貸付等ニ運用スルコトハ有利ナルノミナラズ資金ノ民間還元トナリ短資市場ノ緩和延テハ国債市価ノ快復ノタメ適当ナル方法ナリト認メ」[38]、1936年11月から主として日本興業銀行を経由してコール市場に資金を放出し、コール・レートの低下とともに、間接的に国債の価格支持を図った。

金融調節は主として日本銀行の役割であった。しかし、深井英五日本銀行総裁が、1937年1月11日の第62回預金部資金運用委員会で、「公定歩合ノ取引ノ起ルベキ所マデ来レバ日本銀行ハ自カラ大イニ出動スルノデアリマス、併シ此ノ所謂短資市場ナルモノハ日本銀行ノ公定歩合マデ至ラナイ間ニ於テ市場ニ起ル波デアル、ソレヲ調節スル為ニ日本銀行ノ発行権ニ依ル資力ガ直チニ動クベキモノデハナイ、又サウ云フコトハシナイ方ガ宜シイト私ハ考ヘテ居リマス…（中略）…其ノ公定歩合ニ至ラザルマデノ間ハ、先程モ大臣（馬場蔵相―筆者―）ノ言ハレタ如ク預金部ハ一ツノ大キナ銀行ノ如キモノデアリマシテ、公的見地カラハ又違ツタ見方モ出

36 大蔵省理財局、「金融評議会答弁資料」、1936年12月、『昭和財政史資料第6号第32冊』。
37 国庫課、「郵便貯金増加調」、1936年12月12日、前掲注36、『昭和財政史資料第6号第32冊』。
38 前掲注36、「金融評議会答弁資料」。

来マスガ、金融市場カラ言ヘバ一ツノ大キナ銀行ガ存在シテ居ルト同ジヤウナモノデアリマスカラ、日本銀行ノ公定歩合ニ触レテ来ルマデノ金融ノ為ニ日本銀行ノ発行権以外ニ立ツテ居ル預金部ガ其ノ資金ヲ働カスト云フコトハ、預金部ノ規定等ノ問題ヲ離レマシテ、金融上カラ言ヘバ怪シムニ足ラナイコトダト考ヘルノデアリマス」[39]、同月 27 日の東京手形交換所新年会で、「金融市場の模様により日本銀行の公定歩合に依る貸出を必要とするに至りました際には、日本銀行は予てより充分資金融通の請求に応じて金融の調節に努めて居りますが、其処に至る迄の間の短資市場を調節するには、日本銀行以外に資力があれば、先づ之を以てするのが妥当と考へたのであります。而して金融界多数の希望したる如く政府関係資金の支払を多からしむると云へば、当時の実情に於ては、預金部の余裕資金を短期に市場に運用することが最も適切と認められ、年末臨機の措置として、十一月の月末に向ひ、其の実行を見るに至つた次第であります」[40] と説明していたように、公定歩合による貸出取引が必要となるまでには至らないコール市場でのレートの変動に対しては、日本銀行以外での資力があればそれで対応するのが妥当との認識から、日本銀行はコール市場への資金放出には消極的であった[41]。

(2) 日本銀行による国債流通市場からの国債買入れ

三分半利国庫債券の市価は、1937 年に入り発行価格である 98 円を維持し安定していたが、生産力拡充資金の需要の高まりに対して貸出を増加するために、銀行等の中には「金繰りの都合上公債を処分するものも現はれ」[42]、同年 4 月になると再び 98 円を割り込むようになった（表 5）。これに対応し、同月以降、より多額の預金部による国債流通市場からの国債買入れが実施され、加えて、政府関係機関である簡易保険局、専売局共済組合による国債買入れも実施された（表 6）が、すぐに

39 預金部、『第六十二回預金部資金運用委員会会議議事録』、1937 年 1 月 11 日。

40 調査局、「東京手形交換所新年会席上　深井総裁挨拶要旨」、1937 年 1 月 27 日（『自昭和三年九月至昭和十二年一月　日本銀行総裁演説集』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 4239）。

41 預金部のコール市場への資金放出は 1937 年以降も継続して実施された（日本銀行調査局、「支那事変勃発後の金融対策」（未定稿）、1938 年、日本銀行調査局［1971］89～106 頁、調査局、「昭和十二年十一月二十四日年末金融対策案（重役提出書類）」、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 2805、調査局、「十一月末に於ける預金部短期運用金の市場操作」、1941 年 2 月、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 3135）が、吉野［1952］は、「この時（1936 年末―筆者―）以来、預金部の中央銀行的金融操作は毎年の例として確立するに至つた…（中略）…我国においてあたかも中央銀行が二箇存在するかの如き外観を呈した」（同書、400～401 頁）と評価し、預金部による金融調節を批判している。しかし、1937 年 1 月の深井総裁の説明や、同年 12 月に日本銀行調査局が作成した文書で、「短資市場緩和策として預金部の短期資金放出を続行すること」（日本銀行調査局、「国債消化策」、1937 年 12 月、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 1834）を提示していたことから、日本銀行は預金部のコール市場への資金放出には肯定的、協調的であったと考えられる。

42 日本銀行調査局［1937］1 頁。

表 6　預金部等の政府関係機関と日本銀行の国債買入れ（1936 年 11 月～37 年 11 月）

（単位：千円）

年	月	預金部	簡易保険局	専売局共済組合	金資金特別会計	日本銀行
1936	11	40				
	12	3,881				
1937	1	500				
	2	3,730				
	3	5,430				
	4	23,051				
	5	7,020				34,400
	6	12,150	9,000	300		
	7	5,520	1,000			
	8	12,690				61,300
	9	10,290				20,800
	10				2,910	20,400
	11				270	6,800

備考：預金部、簡易保険局、専売局共済組合、金資金特別会計：国債流通市場からの三分半利国庫債券の買入額。
日本銀行：利付国債の買入額。

資料：預金部、簡易保険局、専売局共済組合、金資金特別会計：前掲注 41、「支那事変勃発後の金融対策」（未定稿）
日本銀行：調査局、『金融資料要録』、1939 年、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 1750

98 円を回復するには至らなかった（表 5）。

こうした国債市価の発行価格割れに対応し、日本銀行は、当時の金融雑誌であった『金融資料』が、「公債市価は去る四月下旬の月末接近に伴ふ短資市場の昂騰によつて発行価格を割込んだが、越月後短資が急軟化を示したにも拘らず、依然発行価格割れの状態を続けてゐるに鑑み、日興證券は日銀の諒解のもとに十四日国債市場に於て三分半公債の買入れに出動した…（中略）…かゝる日銀と日興の合作は従来の預金部出動と対比して金融界の注目を惹いてをり」[43] と記していたように、1937 年 5 月に国債買入れを実施し、国債の価格支持を図った（表 6）。

また、日本銀行は、日中戦争が勃発した直後の 1937 年 7 月に、国債担保貸出の最低利率を商業手形割引歩合と同率にまで引き下げた。これにより、国債担保の貸出利率が国債の利回りを下回り、国債を担保として日本銀行から借入れを行う銀行等にとっては順鞘となったことから、同月 14 日に宝来市松日本興業銀行総裁が、「九厘で日銀から資金を仰ぐことが出来れば資金難から三分半の公債を売る者は無くなる。従つて国債の市価維持、消化に有効である。各銀行とも手元準備を従来より減じていゝわけだ」[44]、翌 15 日の地方長官会議で賀屋興宣大蔵大臣が、「日本銀

43 「公債買支へ出動」、金融研究会［1937a］14 頁。
44 「日銀国債担保貸出利下並に社債優遇」、金融研究会［1937b］27～28 頁。

行ガ国債担保ノ割引利率ヲ本日ヨリ九厘ニ引下ゲマシタノハ特ニ今回ノ事件（日中戦争の勃発―筆者―）ニ対スル措置トシテ行ツタト云フ訳デハアリマセンガ、国債優遇ノ政策ノ現ハレデアリマス。諸君ニ於テモ此ノ公債市価ノ維持ノ点ニ付テハ十分御配慮ヲ願ヒ度イノデアリマス」[45] と説明していたように、国債優遇策としての1932 年 4 月の国債担保貸出の緩和と同様に、銀行等の支払準備としての国債保有が促進され、間接的に国債の価格支持が図られた[46]。

さらに、日本銀行は、「短期資金ノ調達ニ一層便宜ヲ与フル為メ」[47]、保有国債の売却を希望する取引先に対して売戻条件付きでの長期国債の買入れを実施していた[48]が、日中戦争の勃発により軍需産業を中心とする生産力拡充資金の需要がさらに高まり、銀行等が貸出を拡大する必要が生じたことから、「今ハ軍需品又ハ生産力拡充ニ要スル資金ハ之ヲ潤沢ニシ…（中略）…資金ハ日本銀行トシテハ出来ル丈ケ潤沢ニ供給スル方針」[49] のもとに、1937 年 8 月からは、「三分半国債ニ限リ、ソレモ主トシテシンジケート銀行ニ対シテヾアルガ」[50]、保有国債の売却を希望する取引先に対して無条件（売戻条件なし）での長期国債の買入れも実施した。この日本銀行による無条件での長期国債の買入れは、生産力拡充資金等の需要に対して貸出を行う取引先への長期資金の融通を目的としていたが、取引先が保有する国債の国債流通市場での売却を抑制し、間接的に国債の価格支持の機能を果たしていた[51]。

前述のように、従来、日本銀行は、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念から、国債の価格支持を目的とした国債買入れについてはできれば避けたいと考えていた。しかし、この時期になると、日本銀行信用の膨張にともなうインフレへの懸念が弱まる中で、国債買入れもやむをえないと受け止めていたようである。

結城豊太郎日本銀行総裁は、1937 年 8 月 18 日の日本銀行支店長会議で、「本行ノ公債買入ニ付テハシンジケート以外ニ亘ルコトモ考ヘネバナルマイ。戦時統制経済ニ参画スルコトモ必要ダ。寧ロ或場合ニハ本行ガリードセネバナラヌ事モアロウ」[52] と説明し、国債買入れの必要性を明らかにしていた。また、同年 12 月 17 日の貴族院有志に対する講演で、「日本銀行としては、先づ金融機関に於て資金融通

45 「地方長官会議ニ於ケル大臣訓示」、1937 年 7 月 15 日、『昭和財政史資料第 9 号演説　賀屋大臣演説（1）』。
46 志村［1980］、深見［2019］。
47 「支店長宛営業局長通牒」、1935 年 10 月 28 日（日本銀行［1962］421～422 頁）。
48 日本銀行は、短期資金を融通するために、従来は特殊な取引先または臨時に一部の取引先に対してだけ行っていた売戻条件付きでの長期国債の買入れを、1935 年 10 月からはすべての取引先に対して実施していた（同上、420 頁）。
49 1937 年 8 月 18 日の日本銀行支店長会議での結城豊太郎日本銀行総裁の説明（「昭和十二年八月十八日　支店長会合議事速記」、審査部、『支店長会議関係書類　昭和 12 年 8 月』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 3676）。
50 同上。
51 志村［1980］、深見［2019］。
52 前掲注 49、「昭和十二年八月十八日　支店長会合議事速記」。

の必要上国債を以て日本銀行より融通を受くるが如き普通の方法に対しては、其の貸出利率を引下げて便宜を与へ、更に金融機関の希望に応じて国債の買入れを実行致しました。一方に於て国債の売却を必要とする時期に当り、斯の如き買入れの手段を講じましたことは一時日本銀行保有国債の増加を見ると致しましても、之により市場資金の潤沢を図り、延いて国債の消化を助長し得る次第でありますから所謂オープン・マーケツト・オペレーシヨンの完璧を期した次第であります」[53] と説明し、国債買入れによる国債保有の増加を容認していたのである[54]。

こうして、預金部、政府関係機関に加えて、日本銀行による国債買入れが行われた（表 6）結果、1937 年 9 月には三分半利国庫債券の市価は発行価格である 98 円を回復した（表 5）。

その後、日中戦争の長期化と 1939 年 9 月の第二次世界大戦の勃発を契機に、新規国債の発行が急拡大する中で、預金部にかわって日本銀行が国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手となった。

日中戦争の勃発以降、預金部の国債運用においては、新規国債の引受けと売りオペに対応した国債買入れを増額して国債の安定消化を図ることが優先され[55]、資金の運用余力の限界により、国債の価格支持を目的とした国債流通市場からの国債買入れには限度があったことから、日本銀行でも国債の価格支持を目的とした国債買入れが必要であると認識されるようになっていた。1937 年 12 月に日本銀行調査局が作成した文書は、「預金部に依る市場に於ける国債買入れは本年度（四月より）九月迄に既に七千余万円に達し国債市価維持に多大の効果を収め居れり、然れ共預金部の国債買入れは其一面に於て国債引受能力を減少せしむることゝなるを以て限度あるは勿論なり…（中略）…現在本行は取引先銀行のみより其所有国債の買入れをなし居れども国債市価維持のためには預金部資金にのみ任せず本行も国債市場

53 「貴族院有志に対する日銀総裁講演資料」、1937 年 12 月 17 日、日本銀行調査局［1972］、753～755 頁。

54 結城総裁は、この講演で、「最近の日本銀行兌換券発行高を観ますと、事変以来の増勢は特に顕著を加へまして各月の平均発行高は前年に比し何れも二億円以上の増加を示したのでありまして特に十一月に於ては実に三億二千余万円の増加を告げて居るのであります…（中略）…併し乍ら此情勢を以て直に不自然なる通貨膨脹の兆候なりとする見解は妥当を欠くものと申さねばなりませぬ。我国最近の生産力は急激なる拡充過程にあるのでありまして、之に伴ひ物資の取引高も自ら繁忙を加へて参るのであります。左すれば通貨の流通高が増加し従つて兌換券発行高の増加すべきは当然の事と云ひ得るのであります…（中略）…今後の兌換券発行高が更に増加すると致しましても夫れは財界自体の発展過程に対応するものと見るべきであります。最近の物価水準を昨秋に比べますと一割八分見当の騰貴を示して居りますが、之れは主として昨年末から本春に掛けての海外物価の騰勢の影響等に依りまして高められたものが、其後海外物価の低落に拘らず事変に伴ふ特殊の物資需給関係竝に各般の物資需給調整策等の作用せるところ多き結果、海外物価低落の程度に追随し得ざる状況に在つたことに由るのであります。従つて本邦物価水準は現在海外の夫れに比して幾分割高の関係を免れませぬが、之は通貨の不自然なる膨脹等に基因せざるものなることは明らかであります」（同上）と説明し、この時期の日本銀行信用の膨張は、生産力の急激な拡充過程に対応するものであり、物価上昇の要因になっていないという認識を示していた。

55 永廣［2023］。

に随時出動して買入れを行ふことも亦必要なり」[56] と記し、預金部だけでなく日本銀行による国債の価格支持を目的とした国債買入れの必要性を明らかにしていた。

また、1939 年度から各金融機関に蓄積された資金を公債所要資金、事業所要資金、対満・対支供給資金に配分する「資金統制計画」が策定され、公債所要資金に重点が置かれた翌 1940 年度からは銀行等に国債消化目標が設定された[57] が、国債保有が急増した銀行等が一時的な資金繰りのために国債を国債流通市場で売却する可能性もあった。そこで、1940 年 4 月から日本銀行は、「国債買過キニ因リ金繰ノ支障ヲ来タシ之カ処分ヲ余儀ナクスル如キ」[58] 取引先[59] に対しては、無条件での長期国債（三分半利国庫債券および支那事変国庫債券）の買入れにより短期資金も融通できるようにしたが、この国債買入れは、多額の国債を保有する取引先への短期資金の融通とともに、国債の価格支持を目的としていた。

結城総裁は、1940 年 4 月 15 日の日本銀行部局長支店長会議で、「国債の消化を強調すると共に、銀行其他の投資勘定中、国債保有高の割合が多くなることを考慮し、必要の場合の金繰の便宜は勿論、国債の市価の安定の為にも金融機関に安心を与える必要がある。本行の国債買入れ操作も弊害の起らぬ程度に実行致し度い」[60]、同月 18 日の第 35 回全国手形交換所連合会で、「金融機関の資産査定中、国債投資の割合は自然増大することになりますが、日本銀行と致しましても、必要に応じ国債の売買、其の他有効なる手段を以て、其の融通性を確保し、又低金利政策の維持に依り国債市価に動揺なからしめることを期して居るのであります」[61] と説明し、国債の価格支持を目的として無条件での長期国債の買入れを実施したことを明らかにしていたのである。

56 前掲注 41、「国債消化策」。

57 永廣［1995］。

58 「国債買入所作ニ関スル件」、1940 年 4 月 6 日（営業局国債売買係、『自昭和 9 年 7 月至昭和 18 年 10 月　国債売買関係書類綴』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 4020）。

59 この無条件での長期国債の買入れの対象となる取引先については、「（一）当該銀行（信託モ之ニ準ス、以下同シ）カ国債消化ノ実績ヲ挙ケ現ニ左記何レカノ場合ニ該当シ居ルモノニシテ、預金増勢カ予期ニ反シ捗々シカラサルカ又ハ必要已ムヲ得サル貸出等ノ為国債保有困難トナリタル場合ナルコト　イ、国債所有高カ預金残高ニ対シ相当高率ナルカ（例ヘハ同型銀行ノ平均率以上所有ノ場合）　ロ、最近ノ国債所有増加高カ預金増加高ニ対シ相当高率ナルカ（例ヘハ前同様）　ハ、支払準備ヲ相当切詰メテ国債保有ヲ為シ居ルカ等　（二）国債保有ノ困難カ左ノ如キ事情ニ基ク場合ニハ本取扱ヲ許容セサルコト　イ、株式投資、単名手形買入等ニ関連セル事由ニ基ク場合　ロ、コールノ取入ニ依リ国債ヲ保有シ居リシカ如キ形跡アル場合　ハ、其他放漫ナル資金操作ヲ為シタルモノト認メラルヽ場合」という基準が設けられた（同上）。

60 「昭和十五年四月十五日　部局長支店長会議　結城総裁開会之辞」、審査部、『昭和十五年中　部局長支店長会議関係書類』、日本銀行金融研究所アーカイブ保管資料 3909。

61 「第三十五回手形交換所連合懇親会演説　結城日本銀行総裁の演説」、東京銀行集会所［1940］6～7 頁。

5. おわりに

国債管理政策において、国債の発行主体である財政当局（財務省・大蔵省）は、国債流通市場における国債の価格支持を行い、国債の発行条件を有利にして国債の安定消化と財政負担の軽減を図ることを第一義としている。これに対し、金融政策の主体である金融当局（中央銀行）においては、本来、国債の価格支持よりも物価の安定を目的とした通貨供給量の調節という金融政策の観点から国債買入れを実施している。

本稿で明らかにしたように、第一次世界大戦後の日本では、財政当局である大蔵省は、自らが管理する資金により国債の価格維持を図ってきた。しかし、その資金量に限界が生じた後は、金融当局である日本銀行が、大蔵省にかわって国債の価格維持を図るようになった。

国債の償還政策が積極的であった時期には、大部分を国債流通市場からの国債買入れとする国債整理基金からの国債償還が増額され、国債の価格支持を目的とした国債買入れの主たる担い手は大蔵省が管理する国債整理基金であった（1928～30年）。1931年以降、国債の償還政策は消極的なものとなって国債整理基金による国債買入れは減退し、預金部・日本銀行による国債買入れもほとんど実施されず、国債流通市場からの国債買入れを実施して直接的に国債の価格支持を図ることは困難な状況となったが、かわりに実施された国債優遇策が間接的に国債の価格支持の機能を果たした（1931～32年）。その後、大蔵省は、国債流通市場からの国債買入れによる国債の価格支持の担い手を自らが管理する預金部に求め、預金部による国債の価格支持を目的とした国債買入れが行われた（1936年）。一方、日本銀行は、日本銀行信用の膨張とそれにともなうインフレへの懸念から、国債の価格支持を目的とした国債買入れについてはできれば避けたいと考えていたが、1937年以降、日本銀行信用の膨張にともなうインフレへの懸念が弱まる中で[62]、資金の運用余力に限界があった預金部にかわって国債の価格支持の主たる担い手となったのである。

第二次世界大戦中から大戦終了直後の1951年までの諸外国における国債価格支持政策についてみると、アメリカとイギリスでは財政当局の要求により中央銀行が無制限に国債買入れを実施し、フランスでは金融機関に対する国債の強制保有制度を採用していたことが明らかになっている[63]。これに対し、この時期の日本における国債価格支持政策についてはほとんど解明されていないように思われる。した

62 注54の結城総裁の認識にみられるように、1937年以降、生産力が急激な拡充過程にある中で、日本銀行のレジーム・チェンジがあったかどうかについては、さらなる詳細な検討が必要である。今後の課題としたい。

63 日本銀行調査局［1966］。

がって、1940 年から第二次世界大戦終了直後にかけての国債価格支持政策を検討することが、筆者の今後の課題となる。

参考文献

伊藤正直、『日本の対外金融と金融政策』、名古屋大学出版会、1989 年
永廣　顕、「国債発行方法の転換過程―昭和 7 年度予算編成において―」、『証券経済』第 177 号、日本証券経済研究所大阪研究所、1991 年、127～156 頁
――――、「国債管理と預金部資金―馬場財政期の国債管理政策―」、『甲南経済学論集』第 35 巻第 1 号、甲南大学経済学会、1994 年、57～77 頁
――――、「統制的国債管理政策の展開過程―日中戦争期の国債管理政策―」、『甲南経済学論集』第 36 巻第 2 号、甲南大学経済学会、1995 年、25～56 頁
――――、「日銀引受国債発行方式の形成過程：1932」、RIPESS 麗澤大学経済社会総合研究センター Working Paper No.55、2013 年、20～36 頁
――――、「預金部の資金運用の変化と国債運用」、RIPESS 麗澤大学経済社会総合研究センター Working Paper No.95、2023 年、9～35 頁
大蔵省、『明治大正財政史』第 11 巻、財政経済学会、1936 年
――――、『財政金融統計月報』第 35 号、大蔵財務協会、1953 年
大蔵省主計局、『昭和 40 年度及び昭和 41 年度における公債発行に関する資料集（第二分冊）』、1966 年
大蔵省昭和財政史編集室、『昭和財政史』第 6 巻、東洋経済新報社、1954 年
――――、『昭和財政史』第 12 巻、東洋経済新報社、1962 年
大阪銀行集会所、『大阪銀行通信録』第 415 号、大阪銀行集会所、1932 年 a
――――、『大阪銀行通信録』第 421 号、大阪銀行集会所、1932 年 b
加藤三郎、「戦前・戦後の国債問題」、大河内一男編『日本の経済―戦前・戦後―』、東洋経済新報社、1963 年、125～144 頁
釜江廣志、『日本の債券市場の史的分析』、同文舘出版、2012 年
――――、『日本の公共債市場の数量経済史』、同文舘出版、2016 年
――――、「戦前期における 5 分利公債等の市場効率性 Ⅲ：公債買入れと新発債の影響を考慮して」、一橋大学経営管理研究科 Working Paper Series No.168、2021 年
北村恭二、『国債』、金融財政事情研究会、1979 年
金融研究会、『金融資料』第 3 号、金融研究会、1937 年 a
――――、『金融資料』第 4 号、金融研究会、1937 年 b
佐藤政則、『日本銀行と高橋是清―金融財政ガバナンスの研究序説』、麗澤大学出版会、2016 年
財務省財務総合政策研究所財政史室、『昭和財政史―昭和 49～63 年度』第 5 巻、東洋経済新報社、2004 年
財務省理財局、『債務管理リポート 2024―国の債務管理と公的債務の現状―』、2024 年（https://www.mof.go.jp/jgbs/publication/debt_management_report/2024/saimu2024.pdf、2024 年 6 月 19 日）

鎮目雅人、「金融政策と国債管理―近代日本の経験から―」、『金融経済研究』第 46 号、日本金融学会、2023 年、52～70 頁
志村嘉一、『日本公社債市場史』、東京大学出版会、1980 年
武田　勝、「1920 年代における減債基金と国債価格」、RIPESS 麗澤大学経済社会総合研究センター Working Paper No.43、2012 年、56～76 頁
貯蓄銀行協会、『会報』特別号、貯蓄銀行協会、1932 年
東京銀行集会所、『銀行通信録』第 92 巻第 549 号、東京銀行集会所、1931 年
――――、『銀行通信録』第 93 巻第 556 号、東京銀行集会所、1932 年
――――、『銀行通信録』第 109 巻第 652 号、東京銀行集会所、1940 年
東京証券取引所、『東京証券取引所 20 年史―規則　統計―』、東京証券取引所、1970 年
中島将隆、『日本の国債管理政策』、東洋経済新報社、1977 年
――――、「金融市場における預金部の機能変化」、玉野井昌夫・長　幸男・西村閑也編『戦間期の通貨と金融』、有斐閣、1982 年、269～294 頁
日本銀行、『日本銀行沿革史』第 3 集第 4 巻、日本銀行、1962 年
日本銀行調査局、『調査月報』昭和 7 年 1 月、日本銀行、1932 年 a
――――、『調査月報』昭和 7 年 2 月、日本銀行、1932 年 b
――――、『調査月報』昭和 12 年 4 月、日本銀行、1937 年
――――、『日本金融史資料　昭和編』第 9 巻、大蔵省印刷局、1964 年
――――、「欧米諸国における国債管理政策」、『調査月報』昭和 41 年 9 月号、日本銀行、1966 年、1～14 頁
――――、『日本金融史資料　昭和編』第 30 巻、大蔵省印刷局、1971 年
――――、『日本金融史資料　昭和編』第 33 巻、大蔵省印刷局、1972 年
日本銀行百年史編纂委員会、『日本銀行百年史』第 4 巻、日本銀行、1984 年
平山賢一、「戦時末期の国債売買と投資成果」、『証券経済研究』第 113 号、日本証券経済研究所、2021 年、19～45 頁
――――、「預金部の国債ポートフォリオの推移と検証」、RIPESS 麗澤大学経済社会総合研究センター Working Paper No.95、2023 年、36～60 頁
深見泰孝、「戦時期のインフレリスクと国債消化政策」、『彦根論叢』第 419 号、滋賀大学経済学会、2019 年、80～94 頁
宮島　洋、「公的資金による国債管理政策」、金融調査研究会『公共債をめぐる諸問題』、金融調査研究会報告書（17）、1996 年、47～80 頁
迎　由理男、「預金部・簡易生命保険資金の動員」、伊牟田敏充編『戦時体制下の金融構造』、日本評論社、1991 年、283～312 頁
山田博文、『国債管理の構造分析―国庫の資金繰りと金融・証券市場』、日本経済評論社、1990 年

吉野俊彦、『我国金融制度の研究』、実業之日本社、1952 年
理財局国庫課、『第八十一回帝国議会　国債参考書』、1943 年

スマートフォンによる顔認証のセキュリティ：ディープフェイクによる脅威と対策

宇根正志（うねまさし）

要　旨

スマートフォンを使用した金融サービスにおけるオンラインでの顧客の認証方法として、スマートフォンのカメラで取得した顔の動画や静止画を用いた手法が広く使われている。被認証者となる金融機関の顧客は、自分の属性情報、それを証明するクレデンシャル、スマートフォンで撮影した顔の動画や静止画を金融機関に送信し、金融機関はこれらを用いて認証を行う。

こうした認証のセキュリティを考えるうえで、近年注目されているディープフェイクの脅威について考慮する必要がある。具体的には、機械学習によって合成された顔の動画や静止画をスマートフォンのカメラに提示して本人になりすますなどの攻撃の増加が懸念される。また、一部のクラウドによって提供されている顔認証のシステムでは、合成された動画や静止画を誤って受け入れる事象が実験で観察されている。これらを踏まえると、合成された動画や静止画によるなりすましのリスクが高まっているとみられる。

スマートフォンによる顔認証を行っている金融機関は、こうした攻撃によるリスクを評価したうえで、対策手法の動向をフォローし、適切に対応していく必要がある。また、リスク抑制と利便性向上の両立に向けて、合成画像の作成・検知手法を含め、オンラインでの顔認証の研究の更なる進展が望まれる。

キーワード：顔認証、機械学習、合成画像、スマートフォン、ディープフェイク、なりすまし、リスク

本稿は 2024 年 1 月 31 日時点の情報に基づいて作成した。本稿の作成に当たっては、大木哲史准教授（静岡大学）から有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝したい。ただし、本稿に示されている意見は、筆者個人に属し、日本銀行の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者個人に属する。

宇根正志　日本銀行金融研究所参事役（E-mail: masashi.une@boj.or.jp）

1. はじめに

スマートフォンはリテール金融サービスにおいて顧客との重要なチャネルの 1 つとなっている。スマートフォンを使用する代表的な金融サービスとしては、スマートフォン向けのアプリによるモバイル・バンキング、複数の金融取引の履歴に関する情報を集約・管理するフィンテック・サービス、バーコードから取引情報を取得して決済するバーコード決済サービスなどがあげられる。

こうしたサービスを金融機関やフィンテック会社が顧客に提供する際に、顧客の認証（ユーザ認証）をオンラインで実施するケースが一般的であり、スマートフォンに標準装備されているセンサーを用いて生体認証を実施することができるようになっている。例えば、スマートフォン搭載のカメラで撮影した顔の静止画や動画（以下、まとめて画像）を用いる方式や指紋センサーで取得した指紋パターンを用いる方式がよく知られている。このような方式を金融サービスで活用する事例としては、FIDO（Fast IDentity Online）[1] に準拠したユーザ認証を行うアプリにおいて生体認証の方式を選択するケースや、銀行口座開設時のオンラインでの本人確認（eKYC: electronic Know Your Customer）の際に、スマートフォンで撮影した顔や本人確認書類の画像を用いるケースがあげられる。

顔画像を用いたユーザ認証（顔認証）に焦点を当てると、被認証者から提示される顔画像が登録済みの顔画像（テンプレート）と一致するか否かを判定するさまざまな手法が提案・実用化されてきた。近年、深層学習による画像認識の精度が著しく向上し、深層学習による手法も採用されるようになってきている（国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター［2023］）。

深層学習を活用して精巧な顔画像を合成する手法の研究も進んでいる。深層学習を含む機械学習によって合成された画像はディープフェイクとも呼ばれている（笹原［2023］、Gaur [2023]、Xu *et al.* [2016]）。こうした合成画像のなかには、スマートフォン搭載のカメラを用いた顔認証において相応の確率で本人と誤判定されるものも存在する（Ming *et al.* [2020]）。

近年、SNS（social networking service）の普及などによって個人の顔の画像が属性情報とともに公開されるケースがある。SNS から得た情報を用いて精巧な顔画像を合成できるとすれば、スマートフォンによる顔認証のセキュリティが低下し、なりすましのリスクが高まることが想定される。合成画像によるリスクを評価するためには、最新の研究動向をフォローし、合成画像の脅威や顔認証システムの脆弱性を把握することがまず必要である。

1 FIDO は FIDO Alliance, Inc. の登録商標である。

こうした問題意識に基づき、本稿では、機械学習によって合成された顔画像をスマートフォンで撮影して提示する攻撃（提示攻撃〈presentation attack〉）に焦点を当てて、想定される攻撃手順やセキュリティ要件を導出するとともに、顔画像の合成手法や対策手法に関する研究動向を紹介し、今後の課題を考察する。

2 節ではスマートフォンによる顔認証システムの構成を示す。3 節では提示攻撃と攻撃者に関する想定を説明し、4 節ではそれに対抗するためのセキュリティ要件を示す。5、6 節では顔画像の主な合成手法と検知手法をそれぞれ紹介する。7 節では顔認証システムの評価実験の事例を紹介し、8 節では合成画像によるなりすましのリスクと今後の課題を考察する。

2. スマートフォンによる顔認証システムの構成

(1) エンティティ

一般的な顔認証システムのエンティティとして、サービス提供者、アプリ、サービス利用者、スマートフォンをそれぞれ以下のとおりとする。

- サービス提供者：スマートフォン用のアプリを提供し、そのアプリによってサービス利用者に特定のサービスを提供する組織（金融機関など）。
- アプリ：スマートフォンにインストールされ、その画面などを介してサービス利用者とやり取りしつつサービスを提供するソフトウエア。
- サービス利用者：サービス提供者の顧客（個人）。
- スマートフォン：カメラを装備し、サービス利用者の顔画像の取得、サービス利用者の属性情報の処理、サービス提供者との通信、サービス利用者とアプリとの間のインタフェースの機能を実現する端末。

また、攻撃者を、特定のサービス利用者になりすましてサービスを不正に受けることを試みる個人または組織とする。

(2) 本人確認と当人確認

顔認証は、サービス登録時に行われる本人確認と、サービスを受ける都度実行される当人確認においてそれぞれ行われると想定する[2]。

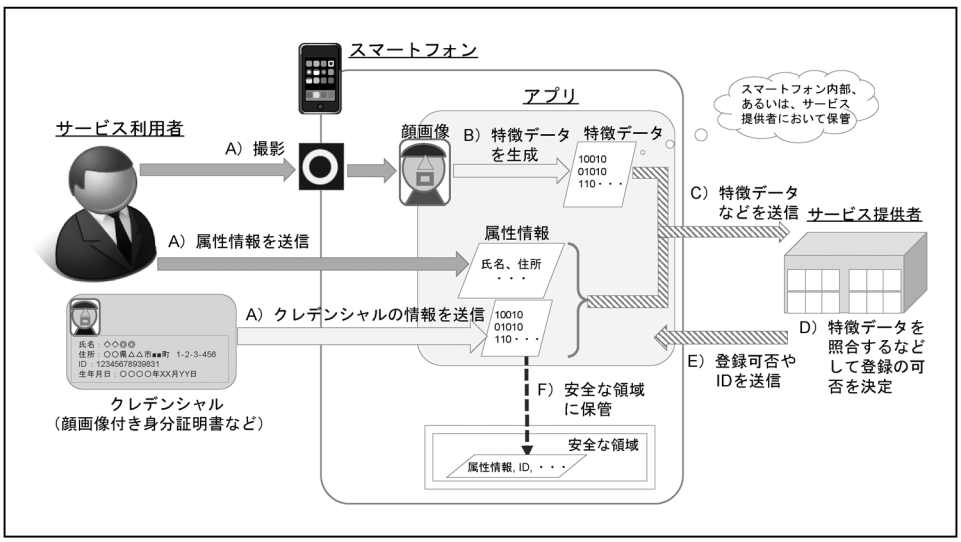
2 本人確認（identity proofing）は、サービス提供者が特定の個人をサービス利用者として登録するか否

イ．サービス登録時の本人確認

サービス登録時の本人確認は、サービス提供者とサービス利用者が対面で行うケースとオンラインのケースが想定される。ここでは eKYC のようにオンラインの場合を想定し、以下の流れで処理が行われるとする（図 1 を参照）。

A) サービス利用者は、自分のスマートフォンでアプリを起動し、属性情報（氏名、生年月日など）と、それを証明するクレデンシャル（属性情報が記載・格納された身分証明書など）の情報を入力する。ここで、クレデンシャルは顔画像を含むものとする。また、カメラで顔を撮影する。
B) アプリは、クレデンシャルの顔画像と自撮りの顔画像から、顔の特徴を表すデータ（特徴データ）をそれぞれ生成する。
C) アプリは、特徴データを他の属性情報やクレデンシャルの情報とともにサービス提供者（または、サービス提供者から作業を受託した第三者）に送信する。
D) サービス提供者は、クレデンシャルの情報を用いて属性情報を確認するとともに、特徴データを照合して一致するか否かを確認し、それらの結果を踏まえて登録の可否を決定する。登録可の場合、サービス利用者の ID を生成

図 1　オンラインでの本人確認における処理のイメージ



かを決定するために既存のクレデンシャル（運転免許証やパスポートなど）を用いて個人とその属性の関係を確認するプロセスである。身元確認と呼ばれることもある。当人確認（authentication）は、サービスの利用を求める主体がサービス利用者として既に登録されているか否かをサービス提供者が確認するプロセスである。

する。

ここで、当人確認の際に顔画像の照合をサービス提供者が実施するケースでは、テンプレートを ID とともに自分のデータベースに保管する。

E) サービス提供者は登録可否をアプリに送信する。登録可の場合は、サービス利用者の ID をアプリに送信する。

ここで、当人確認の際に顔画像の照合をスマートフォンで実施するケースでは、サービス提供者はテンプレートもアプリに送信する。

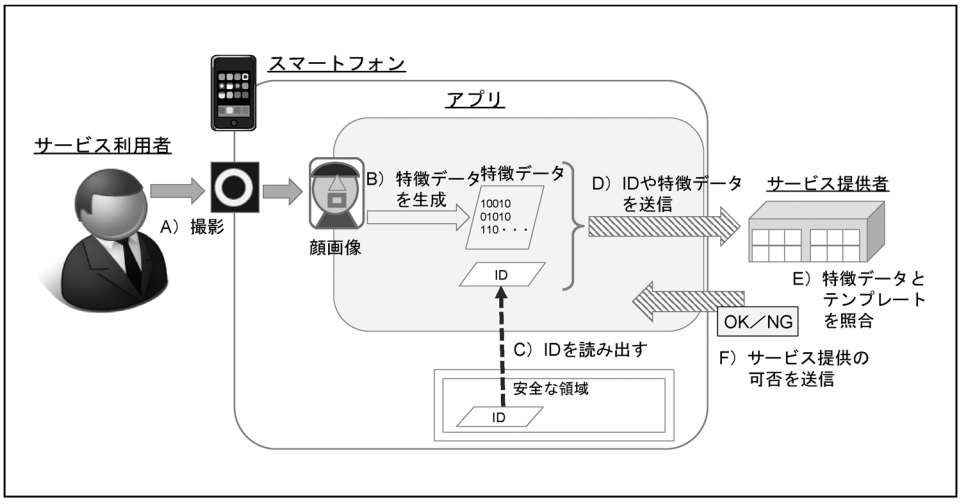
F) アプリは、登録可の場合、それをサービス利用者に通知する。また、ID、属性情報、クレデンシャルの情報をスマートフォン内部の安全な領域[3] に保管する。

当人確認の際に顔画像の照合をスマートフォンで実施するケースでは、アプリはテンプレートも安全な領域に保管する。

ロ. サービス利用時の当人確認

当人確認の処理フローは、顔画像の照合をサービス提供者において実施するケースとスマートフォンで実施するケースで異なる。それぞれの処理フローは以下のとおりである。

図 2　当人確認の処理のイメージ：照合をサービス提供者において行う場合



3 こうした領域として、例えば、トラスティッド・エグゼキューション・エンバイロメント（trusted execution environment）で動作するアプリのみがアクセスできるメモリー領域があげられる。トラスティッド・エグゼキューション・エンバイロメントは、通常の処理やデータと比べて高いセキュリティが求められるもの（例えば、暗号処理や認証処理）を取り扱うための実行環境であり、多くのスマートフォンに標準装備されている。

（イ）　顔画像の照合をサービス提供者において実施するケース（図２参照）

A) サービス利用者は、アプリを起動してスマートフォンのカメラで顔を撮影する。

B) アプリは取得した顔画像から特徴データを生成する。

C) アプリは安全な領域から ID などを読み出す。

D) アプリはサービス利用者の ID や特徴データをサービス提供者に送信する。

E) サービス提供者は、サービス利用者の ID に対応するテンプレートを自分のデータベースから抽出して特徴データと照合する。

F) サービス提供者は、照合結果に基づいてサービス提供の可否を決定し、それを示すメッセージをアプリに送信する。

（ロ）　顔画像の照合をスマートフォンで実施するケース（図３参照）

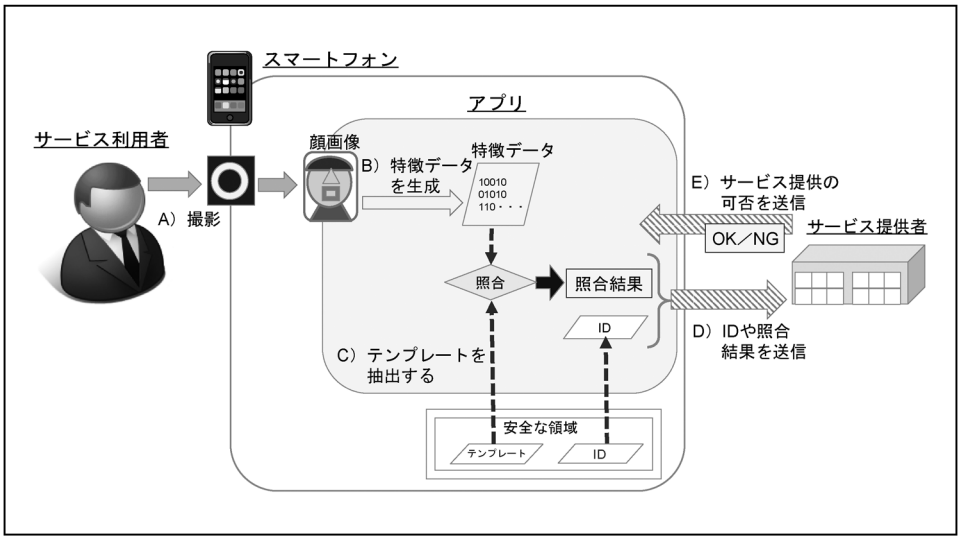
A) サービス利用者は、アプリを起動してスマートフォンのカメラで顔を撮影する。

B) アプリは、取得した顔画像から特徴データを生成する。

C) アプリは、安全な領域からテンプレートを抽出して特徴データと照合する。

D) アプリは、安全な領域からサービス利用者の ID などを抽出し、照合結果とともにサービス提供者に送信する[4]。

図３　当人確認の処理のイメージ：照合をスマートフォンで実施する場合



4 照合結果をサービス提供者に送信する代わりに、アプリにおける照合が成功すると、アプリがスマートフォン内部に格納されている認証用の情報（公開鍵暗号の秘密鍵など）を用いてサービス提供者との間で認証を実行するケース（例えば、FIDO における認証）もある。

E) サービス提供者は、照合結果などからサービス提供の可否を決定し、それを示すメッセージをアプリに送信する。

3. なりすましを目的とした攻撃

(1) 攻撃の目的

本稿では、攻撃の目的として以下を想定する。

- サービス登録時のなりすまし：攻撃者が、特定の個人（被攻撃者）になりすましてサービスに登録し、金銭を得ようとしたり別の不正行為を試行したりする。例えば、銀行口座を被攻撃者の名義で不正に開設し、それを第三者に転売したり資金洗浄に使用したりするケースが考えられる。
- サービス利用時のなりすまし：攻撃者が、特定のサービス利用者（被攻撃者）になりすましてサービスを実行し、金銭を得ようとする。例えば、顔画像による当人確認を用いるオンライン・バンキングを被攻撃者が利用していた場合、攻撃者は、被攻撃者になりすまして送金を行い、被攻撃者から金銭を盗取するケースが考えられる。

(2) 顔画像を提示する攻撃

攻撃者が被攻撃者になりすます方法として、スマートフォンのカメラに何らかの被写体を提示して撮影するケース、すなわち、提示攻撃に焦点を当てる。提示攻撃の実行には、被攻撃者のスマートフォンの解析や改変などが不要である。そのため、攻撃実施のハードルが低く、サービス提供者がなりすまし対策を検討するうえでベースラインとなる攻撃といえる。

静止画による認証の場合、提示攻撃として、被攻撃者の写真をカメラに提示する攻撃や、被攻撃者の顔の特徴を再現したマスクを装着して頭部を提示する攻撃がよく知られている。動画による認証の場合には、被攻撃者の顔の動画を提示する攻撃が知られている。機械学習によって合成した画像をディスプレイに表示してカメラに提示する攻撃も提示攻撃の一種である。

(3) 攻撃者の想定

現実の状況を考慮して、攻撃者に関する以下の想定を置く。

- 被攻撃者のスマートフォン（アプリをインストール済み）を攻撃実行時に一時的に使用する[5]。
- 被攻撃者のスマートフォン内部に不正な仕掛け（マルウェア・アプリのインストールなど）を行わない。また、サイドチャネル攻撃[6]をスマートフォンに仕掛けることもしない。
- 特徴データやテンプレートの生成や照合の方法を知らない（ブラックボックスの想定）。
- 被攻撃者の顔画像やサービス登録に必要な属性情報（氏名、住所など）を SNS などから入手する。
- 被攻撃者のクレデンシャルを入手できないほか、サービス提供者が本物と誤認するクレデンシャルを偽造することもできない。
- 被攻撃者のスマートフォンとサービス提供者との間の通信の盗聴・改変、サービス提供者への不正行為（サーバへの侵入など）を行うことができない。

(4) 攻撃の手順

イ. サービス登録時における本人確認での攻撃

個人がサービスに登録する際には、サービス提供者と対面で本人確認を行うケースと、オンラインで行うケース（eKYC など）が想定される。

対面での本人確認の場合、攻撃者はサービス登録時にクレデンシャルをサービス提供者に提示する必要があるが、本節（3）の想定により、本物のクレデンシャルを提示できず攻撃は成功しない。

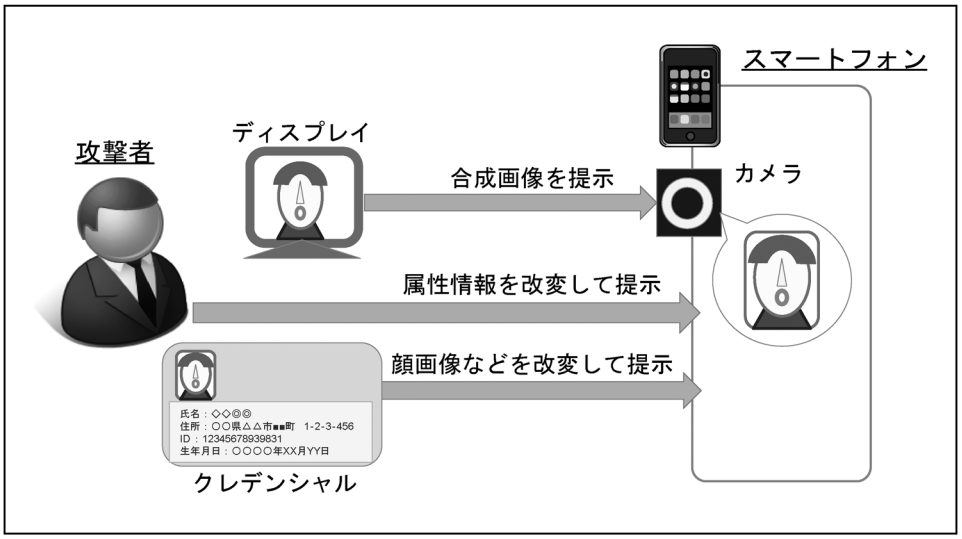
オンラインでの本人確認では、顔画像の合成による攻撃として以下の攻撃が想定される（図 4 を参照）。

- 被攻撃者や架空の個人の顔画像（合成したもの）をディスプレイに表示し、そ

5 例えば、攻撃者がスマートフォンを盗取するケース（被攻撃者が盗難に気づくまでの間に攻撃を実行）や、被攻撃者が眠っている間に攻撃者がスマートフォンを操作するケースが想定される。

6 サイドチャネル攻撃は、暗号アルゴリズムなどの処理をパソコンやスマートフォンで動作させた際に、予期せぬチャネル（サイドチャネル）から漏れる情報（消費電力パターン、処理時間パターン、漏洩電磁波パターンなど）を用いて秘密情報（パソコンの内部に格納されている暗号鍵など）やアルゴリズムの構造を効率的に推定するタイプの攻撃である。

図 4　サービス登録時におけるオンラインでの本人確認への攻撃



れを自分のスマートフォンのカメラで撮影する。
- 属性情報については被攻撃者のものに改変して提示する。
- 自分のクレデンシャルの情報のうち、顔画像については、被攻撃者や架空の個人の顔画像（合成したもの）に改変して提示する。その他の情報は被攻撃者のものに改変して提示する。

ロ.　サービス利用時における当人確認での攻撃

攻撃者は、被攻撃者の顔画像を合成するとともに、被攻撃者の ID やテンプレートが保管されている被攻撃者のスマートフォンを一時的に盗取する。そして、そのスマートフォンのアプリを起動し、合成した顔画像をカメラで撮影する。

4.　提示攻撃に対抗するためのセキュリティ要件と対応

(1)　2 つのセキュリティ要件

3 節で示した本人確認と当人確認における攻撃に対抗するためには、以下のセキュリティ要件をともに満たす必要がある。

A) サービス提供者は、本人確認時に提示される属性情報やクレデンシャルの情報を改変困難にすること、または、これらの改変を検知すること。
B) サービス提供者は、当人確認時に、合成画像が被攻撃者のテンプレートと一致と誤判定される確率（攻撃が成功する確率）をリスク管理上許容できる水準以下とすること。

イ．セキュリティ要件 A

セキュリティ要件 A はサービス登録時の本人確認への攻撃に対抗するためのものである。

サービス提供者が、属性情報またはクレデンシャルの情報の改変を検知したならば、不審な登録とみなして登録を承認しないようにすることができる。

また、サービス提供者が、カメラに提示された合成画像と、クレデンシャルの情報の一部として提示される顔画像を照合して、攻撃を検知するという方法もありうる。ただし、カメラに提示された合成画像とほぼ同一のものがクレデンシャルの情報の一部として提示されたならば、サービス提供者が、被攻撃者の顔画像を事前に入手しているといった特別な状況でない限り、攻撃の検知は困難である。このため、顔画像の照合による攻撃検知の効果は限定的と考えられる。

ロ．セキュリティ要件 B

セキュリティ要件 B は、サービス利用時の当人確認への攻撃に対抗するためのものである。

サービス登録が適切に実施され、被攻撃者の顔画像のテンプレートが登録されているという状況のもとで、合成画像の提示による攻撃を検知するためには、合成画像とテンプレートが一致すると誤判定する確率をリスク管理上許容できる水準以下にすることが求められる。

(2) セキュリティ要件 A を満たす方法

クレデンシャルの情報を改変困難にする方法として、耐タンパー性を有する IC チップにクレデンシャルの情報を格納して改変困難にすることが考えられる。例えば、マイナンバーカードの IC チップに属性情報を格納し、マイナンバーカードをクレデンシャルとして用いる方法が当てはまる。

クレデンシャルの情報の改変を検知する方法としては、クレデンシャルの情報に（クレデンシャルの発行者による）デジタル署名を付与して本人確認時に検証する方法があげられる。

(3) セキュリティ要件 B を満たす方法

サービス提供者はリスク管理上許容できる誤判定の確率の上限を設定し、攻撃が成功する確率がそれ超えない対策手法を採用することが考えられる。この場合の検討の流れとして以下が想定される。

I. なりすましがサービスに与える被害額の期待値（X）、サービス提供者が許容できる被害額の上限（Y）をそれぞれ算出し、Y÷X=Z を計算して、Z を許容できる誤判定の確率の上限とする。
   —— 被害額の期待値（X）は、例えば、一定期間における攻撃の試行回数と、1 回の攻撃成功によって生じる被害額から算出する。このうち、一定期間における攻撃の試行回数については、攻撃者となりうるサービス利用者がどの程度存在するか、また、一定期間においてサービスの登録や利用を何回試行できるかを見積もって算出することが考えられる。
II. 既知の顔画像の合成・提示手法をリストアップする。
III. サービスで使用する予定のスマートフォンやカメラ、顔画像の照合方式を前提としたときに、リストアップした各手法による攻撃成功確率と攻撃実行に必要なコストを評価する。
   —— 攻撃成功確率については、例えば、照合方式における判定しきい値などのパラメータと攻撃成功確率との関係を特定して評価する。
IV. 上記 III の評価を考慮し、実行される可能性が高い手法を特定する。
   —— 攻撃者は、実行に要するコストがなるべく低く、相応の効果（攻撃成功確率）が得られる手法を選択しうる。そこで、攻撃成功確率が相対的に高い手法とともに、コストが低い手法も特定しておく。
V. 上記 IV で特定した手法に関して、許容できる誤判定の確率の上限よりも攻撃成功確率が小さくなるように、照合方式のパラメータを設定する。こうしたパラメータ設定が困難な場合、他の照合方式（またはサービス）の候補を探索し、改めて上記 III の作業から再開する。

上記 V においてパラメータを設定する際には、本人拒否の確率にも配慮する必

要がある。一般に、他者を誤って本人と判定する確率を低くしようとすると、本人を他者と誤って判定する確率が高まる。サービス提供に支障が出ないように本人拒否の確率を一定水準以下とすることが求められる。

5. 顔画像の合成

なりすましに使用することができる顔画像の合成手法は、フェイシャル・リエナクトメント（facial reenactment）とフェイシャル・リプレイスメント（facial replacement）にわけることができる（Mirsky and Lee [2020]）。

(1) フェイシャル・リエナクトメント

フェイシャル・リエナクトメントは、攻撃者の特徴点（目、口、鼻など）の移動や形状の変化を被攻撃者の顔画像に見た目が自然なかたちで反映させるものである（図 5 を参照）。例えば、瞬きによる目の動き、視線の変化、唇の動き、頷きなどによる頭部の上下左右の動きがあげられる。

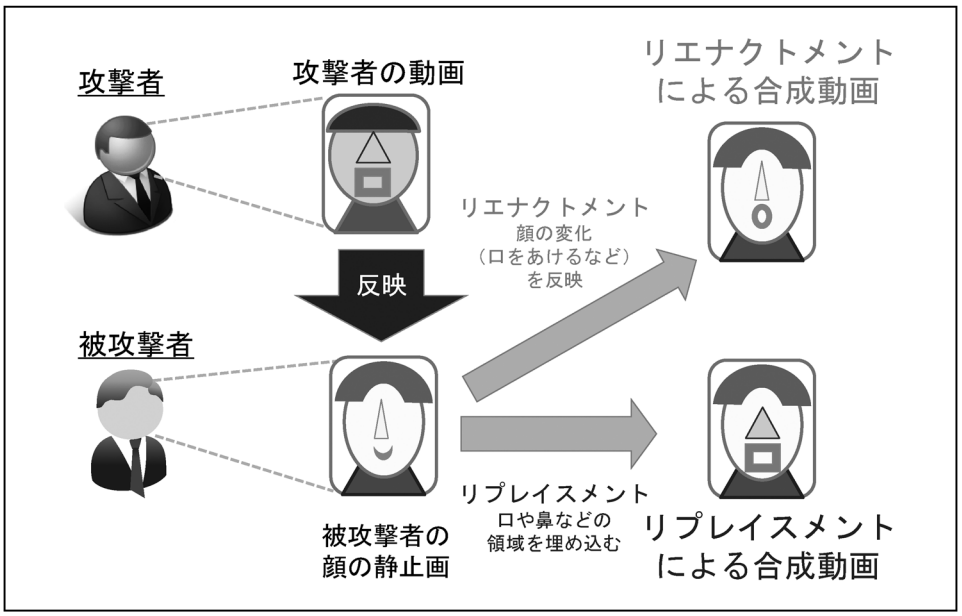
以下では、フェイシャル・リエナクトメントの主な手法の基本的なアイデアを説明する。以下で取り上げる論文による提案手法を発展させるかたちでさまざまな手法が提案されているが、ここではそれらを網羅的に取り扱うのではなく、画像合成の基本的なアイデアを提案した論文に絞って取り上げる。本節（2）および 6 節での説明も同様である。

・**Face2Face**

この手法では、攻撃者が事前に被攻撃者の動画を入手することを想定している。そして、顔の向きやその輪郭（pose）、特徴点の位置や形状（expression）、顔領域の明度（illumination）などの情報（特徴量）を各フレームから抽出し、被攻撃者の顔の特徴量の分布や頻度を示す確率モデルを生成しておく。動画の合成の際には、攻撃者は自分の顔の動画を取得して各フレームから特徴量を抽出したうえで、その特徴量を被攻撃者の確率モデルに適用して動画を合成する。

Thies *et al.* [2016] は、この手法を提案したうえで、市販のウェブ・カメラによって攻撃者の動画を撮影しつつ被攻撃者の動画を合成した。その結果、ほぼリアルタイムで合成動画をディスプレイに表示させることができた旨を報告した。

図５　リエナクトメントとリプレイスメント



・**X2Face**

この手法は、発言している個人（話者）の顔の動画を合成することを目的としている。まず、被攻撃者の顔の動画から当人の標準的な表情の静止画（例えば、無表情でカメラに正対した顔の静止画）を機械学習モデルによって合成する。攻撃者は、自分の顔動画の各フレームと被攻撃者の標準的な表情の静止画から、自分の顔の動きが反映された被攻撃者の動画を合成する。使用する 2 つの機械学習モデルを生成する際には、被攻撃者を含むさまざまな個人の顔の動画から抽出した頭部の向きや顔の特徴点の位置のデータを用いる。

Wiles, Koepke, and Zisserman [2018] は、この手法を提案したうえで、動画データセットのフレーム（約 90 万件）を訓練データとして用いて各モデルを生成し、それによって生成した合成動画を GAN（generative adversarial network）による手法（GAN については補論を参照）と比較した。その結果、顔の特徴点の位置の正確性、フレーム間での背景や頭髪の形態の整合性などの点で提案手法が相対的に優れていたと評価した。

・**Neural Talking Head Model**

この手法は、X2Face と同じく、話者の顔の動画を合成することを目的としている。ただし、被攻撃者以外のさまざまな個人の動画を用いて汎用的な事前学習済みモデルを GAN によってまず生成し、その後、被攻撃者の少数の動画によって事前

学習済みモデルを被攻撃者向けにカスタマイズする方法を採用した。

事前学習では、話者の動画の各フレームから、頭部の形状、特徴点の位置や形状、頭部や特徴点の状態に依存しない情報（画像の色相〈赤、青、緑など〉、明度など）を抽出し、それを生成モデルに入力して静止画を合成する。合成した静止画を分類モデルに入力し、出力された類似度に基づいて生成モデルをアップデートする。カスタマイズでは、被攻撃者の動画から少数のフレームを抽出して学習済みモデルに入力し、事前学習と同じプロセスで再学習する。最終的に得られた生成モデルに攻撃者の動画の各フレームを入力して被攻撃者の合成動画を得る。

Zakharov *et al.* [2019] は、この手法を提案したほか、話者の動画データセット（480 件の動画）を用いて合成動画を生成し、X2Face などの既存手法による合成動画と比較した。人間による主観的な評価（表情の自然さや動きの整合性を評価）において既存手法より優れていた旨を報告した。

・ FSGAN （Face Swapping GAN）

この手法はフェイシャル・リプレイスメントの手法であるが、その途中段階でフェイシャル・リエナクトメントを実行しており、フェイシャル・リエナクトメントのための機械学習モデルを GAN で生成する。

生成モデルは、ある個人（被攻撃者以外）の 2 つの異なるフレーム A、B が入力されたとき、A の特徴点などの情報に基づいて、B に類似した静止画を合成するように訓練される。具体的には、顔の（複数の）特徴点の位置の重心を算出し、A の重心が B の重心に近づくように静止画 A′ を生成する。A′ と B は分類モデルに入力され、その結果として出力された類似度に基づいて生成モデルがアップデートされる。攻撃者は、こうして得た生成モデルに被攻撃者の静止画（A）と自分の動画の各フレーム（B）を入力して被攻撃者の動画を合成する。

Nirkin, Keller, and Hassner [2019] は、この手法を提案したうえで、顔の動画データセット（5,500 件の動画）を用いて生成モデルを準備し動画を合成した。それらを Face2Face による合成動画と比較したところ、より自然な表情を再現できた場合があったものの、顔の向きによっては画像がより不鮮明になる場合があった旨を報告した。

・ FOMM （First Order Motion Model）

この手法では、まず、顔の特徴点の位置や動きに関する情報（motion）と各領域の色相や明度などの情報（appearance）を動画の各フレームからそれぞれ抽出し、それらを被攻撃者の特徴点に反映させてフレームを合成する。次に、被攻撃者のフレームの色相や明度などを追加して最終的な合成フレームを完成させる。特徴点などの抽出、特徴点の動きの予測、最終的な合成フレームの生成には、それぞれ別々

の機械学習モデルが使用され、それらは GAN によって生成される。

Siarohin *et al.* [2019] は、この手法を提案したうえで、約 12,000 件の動画を用いて各モデルを生成し、合成動画を既存手法（提案チームによる手法や X2Face）によるものと比較した。その結果、特徴点の位置が既存手法よりも正確であったと評価した。

・ ICface （Interpretable and Controllable Face)

この手法の特徴は、合成画像における頭部の動きや表情（目と鼻の動き）を別々に操作できるという点である。まず、被攻撃者の静止画からニュートラルな顔（無表情で正面を向いたもの）の静止画を生成する。次に、攻撃者の動画のフレームから顔の特徴点を抽出し、それらのなかで被攻撃者の静止画に反映したいものだけを選んで機械学習モデルに入力する。機械学習モデル（GAN によって生成）は、攻撃者が選んだ特徴点を反映するように動画を合成する。

Tripathy, Kannala, and Rahtu [2020] は、この手法を提案したうえで、提案手法のモデルによる合成動画を既存手法（X2Face など）のものと比較したところ、攻撃者の動画の頭部や表情の変化がより正確に反映されたと評価した。

(2) フェイシャル・リプレイスメント

フェイシャル・リプレイスメントは、攻撃者の顔の静止画（または動画の各フレーム）における特徴点の領域を、被攻撃者の顔画像に自然な風合いで埋め込むというものである。主な手法としては FSGAN や FaceShifter があげられる。

・ FSGAN

FSGAN をフェイシャル・リプレイスメントに用いる場合、フェイシャル・リエナクトメントにおける生成モデルを使用する。まず、攻撃者の動画のフレームと被攻撃者の静止画を生成モデルに入力し、フレームを合成する。その合成フレームは、背景、顔の形状・輪郭・特徴点が被攻撃者のもの、特徴点などの動きが攻撃者のものとなっている。次に、この合成フレームに攻撃者の顔の特徴点を機械学習モデルによって埋め込む。機械学習モデルは GAN によって生成される。

Nirkin, Keller, and Hassner [2019] は、この手法を提案したうえで、合成した動画を、提案者らのチームによる既存手法による合成動画と比較した。合成動画のフレームと被攻撃者の静止画の特徴点間のユークリッド距離を比較することによって特徴点の位置の正確性を評価すると、提案手法の方が短く正確であった旨を報告した。

・**FaceShifter**

この手法では、被攻撃者と攻撃者の動画のフレームからそれぞれ特徴点の情報を特徴量として抽出する際に、フレームの解像度を変化させながら複数の特徴量セットを取得する点が特徴である。これによって、動画からより多くの情報を抽出することができる。ある解像度における特徴量からフレーム X を合成し、次に、別の解像度における特徴量を用いて、X から新たな合成フレーム X’ を生成する。これを繰り返して最終的な合成フレームを生成する。特徴量の抽出やフレームの合成はそれぞれ機械学習モデルによって行う。モデルは GAN によって生成する。

Li *et al.* [2020] は、この手法を提案したうえで、提案手法による合成動画を他の手法（FSGAN など）のものと比較した。その結果、顔の輪郭の形状、顔領域の色相や明度などに関して、より忠実に攻撃者の動画を再現することができたと評価した。

6. 合成画像の提示への対策手法

提示物が生体か否かを確認する方法として、頭部や表情を変化させるように被認証者に指示するなどのチャンレンジ・レスポンスによる方法がよく知られている。もっとも、リアルタイムで動画を合成するタイプの攻撃に対しては十分な対策とならない可能性があり、チャレンジ・レスポンス以外の手法についても考慮する必要がある。

スマートフォン搭載の RGB カメラ（深度や赤外光を使用しない、可視光による汎用カメラ）による撮影を前提とすると、合成画像の提示に対抗しうる主な手法として以下があげられる。

・顔の明度の時系列変化を用いる手法

血管を流れる血液の量は心拍によって時系列的に変化する。その結果、顔の表皮の明度や色相も微妙に変化する。こうした変化を動画から読み取り、提示物が生体か否かを判定する手法が提案されている（Li *et al.* [2016]）。可視光によって顔表面を撮影し、顔の特定の領域における色相の変化やその周期性を抽出して判定に用いる。判定に機械学習モデルを使用する手法が提案されており、実験の結果、一部の合成画像を高い確率で検知できることが示されている（Ciftci, Demir, and Yin [2020]）。

・顔画像の局所的な表面形状の差異を手掛りとする手法

人間の顔の表面の形状は微細で複雑な形状を有している。一方、合成画像を表示した印刷物やディスプレイの表面は比較的滑らかである。こうした表面形状の差

は、カメラで取得した顔画像の色相や明度、濃淡などにも反映される。そこで、顔画像の各領域から得られる情報を局所的な特徴量として抽出し、提示物を判定する。動画の場合、個々のフレームにおける特徴量に加えて、連続したフレーム間における特徴量の変化を手掛りとすることもできる。特徴量やその時系列的変化を抽出するために機械学習モデルを使用する手法が提案されている（Xu, Li, and Deng [2015]）。また、正確な判定に寄与する顔画像の領域を特定し、それらの特徴量を判定時に重視する手法も提案されている（Yang *et al.* [2019]）。

・頭部の三次元構造を手掛りとする手法

この手法は、提示物の奥行きなどの三次元構造を用いて生体か否かを判定するものである。合成画像の提示がフラットなディスプレイによって行われる場合、奥行きがほとんどなく人間の頭部の場合と明らかに異なる[7]。顔の動画を取得し、動画のフレームから得られた色相の変化、特徴点の位置の変化、カメラと特徴点との間のアングルとその変化などを測定する。これらの情報から提示物の三次元構造を再構成し、頭部の三次元構造を有しているか否かを判定する。三次元構造の再構成を機械学習モデルで行う手法が提案されており、一部の合成画像を高い確率で検知できることが示されている（Wang *et al.* [2019]）。

・合成画像を訓練データとして判定器を生成する手法

真正な顔画像と合成された顔画像をそれぞれ訓練データとして使用し、両者を識別するように訓練されたモデルを用いる手法である。判定用の顔画像の特徴量を人間が定める代わりに、機械学習によって帰納的に決定する。判定の精度は、主に訓練データと機械学習のアルゴリズムに左右される。

例えば、Yang, Lei, and Li [2014] は、合成画像の訓練データとテスト・データをそれぞれ準備して 3 層の畳み込みニューラル・ネットワークに基づく判定器を提案した。また、Afchar *et al.* [2018] は、合成画像のデータセットを使用して 4 層の畳み込みニューラル・ネットワークからなる判定器を提案し、特定の合成画像を高い確率で検知可能である旨を示した。

これらのほかにも、近年、非常に多くの手法が提案されている（Khan and Dang-Nguyen [2023]）。ただし、提案手法の効果を評価する際に用いられる合成画像のデータセットや評価の基準が手法によって異なっており、横並びでの評価が難しいという課題が残されている。

7 攻撃者が、被攻撃者の頭部の特徴を再現したマスクを着用した場合には対応できない可能性がある。したがって、合成画像だけでなくマスク着用などの攻撃への対策を考慮する際には、他の手法と組み合わせることが必要となる。

このように、さまざまな観点から合成画像を検知するための手法が提案されている。ただし、いずれも、既存の合成画像を検知する効果に関して網羅的に評価・検証されているわけではない。同じカテゴリーの手法同士の比較に加えて、異なるカテゴリーの手法の比較も今後の課題である。こうした評価面での課題や画像合成手法の研究の活発化を踏まえると、筆者が知る限り、決め手となる対策手法はまだ特定されていない。

7. 実験による顔認証システムの評価

スマートフォンのカメラによる顔認証システムを対象に、現実的な状況のもとで提示攻撃への耐性を実験的に評価する試みも少数ではあるが報告されている。以下では、そうした研究2件の概要を紹介する。これらの実験では、本人確認時に被攻撃者のクレデンシャルを使用しており、3節（3）における攻撃者の想定よりも攻撃者に有利な状況となっている。

(1) 独自に開発した顔認証システムの評価実験

川名らは、顔画像と運転免許証（クレデンシャル）を用いた模擬eKYCシステムを評価用に構築した（川名ほか［2021］）。本人確認の際にフェイシャル・リエナクトメントの手法で合成した動画をディスプレイに表示し、それをスマートフォンのカメラで撮影・提示した際に本人と誤判定されるか否かを実験した。

イ. 本人確認の処理

本人確認の処理は以下の流れで実施された。

① 被認証者は、運転免許証の表面（顔写真付き）、裏面、側面（厚みを確認）をスマートフォンのカメラでそれぞれ撮影する。
② 被認証者は、自分の顔を正面からスマートフォンで撮影する。
③ 模擬eKYCシステムは、被認証者に対して、頭部を動かす（左を向く、右を向くなど）ように指示する。頭部の動作の内容はランダムに決められる。
④ 被認証者は、指示に従って頭部を動かし、動かした後の状態の顔をスマートフォンで撮影する。
⑤ 模擬eKYCシステムは、運転免許証の顔写真の画像が②、④の静止画と一致するか否かを判定する。

上記②と④の顔画像における顔の領域の特定や特徴点の抽出、上記⑤における照合・判定の処理は、それぞれ、機械学習を用いたオープン・ソースのツールによって実装された。

ロ. 実験の概要と結果

合成画像を提示する攻撃の実験は次の流れで行われた。

A) 攻撃者は、被攻撃者の運転免許証（本物を使用）を撮影し、模擬 eKYC システムに送信する。
B) 攻撃者は、模擬 eKYC システムによるランダムな指示に応じて自分の顔を動かし、それを撮影する。その動画から顔の特徴点の変化を抽出し、被攻撃者の顔の静止画（事前に別途取得しておく）に反映させた動画を合成してディスプレイに表示する。この一連の処理をリアルタイムで実施する。
C) 攻撃者は、ディスプレイの合成動画をスマートフォンで撮影して模擬 eKYC システムに送信する。
D) 模擬 eKYC システムは、上記 A と C で撮影された顔の静止画を照合して同一人物か否かを判定する。

合成動画の生成にはオープン・ソースのツール（FOMM をベースとしているもの）が用いられた。

実験の結果、運転免許証の顔写真と合成動画が同一人物であると誤って判定された。試行回数やそのうちの成功回数など、詳しい内容が論文に記載されていないものの、合成動画が顔認証システムにおいて現実の脅威となりうることを示したものといえる。

(2) クラウドが提供する顔認証サービスの評価実験

リーらは、スマートフォンで取得した動画と静止画をクラウドに送信して本人確認を行うケースを対象に実験を行った（Li *et al.* [2022]）。実際に運用されている 6 つの顔認証サービス（FLV: facial liveness verification）に対して合成画像を送信し、誤判定が生じるか否かを検証した。

イ. 本人確認の処理

各 FLV の本人確認の手順は概ね次のとおりである。

① 被認証者はアプリを起動する。

② アプリは、被認証者の顔画像や音声をスマートフォンのカメラやマイクで取得し、FLV に送信する。
③ FLV は顔画像や音声を用いて生体検知を実施する。
④ FLV は別途取得していた顔画像と②で取得した顔画像を照合する。
⑤ FLV は照合結果をアプリに送信する。
⑥ アプリは照合結果に基づいてサービス提供の可否を決定する。

ロ. 生体検知方法のバリエーション

リーらは、上記③の生体検知の形態を各 FLV について推定した（表 1 を参照）。FLV の方式名は F1〜F6 とする。1 件の FLV（F5 の方式）が動画による生体検知のみを実施し、残りは静止画による生体検知と動画による生体検知の両方を実施していた。動画による生体検知の形態は以下のとおりであった。

A) 被認証者に対して頭部を動かすように指示し、その動きを撮影して検証する（動作のバリエーションは、瞬きをする、上下左右を向く、口を開けるなど）。表 1 の F1、F2、F3 がこれに相当する。
B) 頭部の動作を指示しないで動画を撮影して検証する。以下のバリエーションが存在していた。
  - B-1) スマートフォンの画面に数字を示し、被認証者にそれを発音させ、唇の動きと音声の整合性を検証するもの（提示する数字は 3〜6 桁）。F1、F2、F4、F5 がこれに当てはまる。音声による本人確認は実施していない。
    —— 特に、F2 と F4 は、唇の動きと音声が同じタイミングか否かを検証していた（lip language detection）。
  - B-2) 被認証者による発音がないもの。F3 以外が相当する。

このほか、F1 と F2 は、提示された画像が合成されたものか否かを判定して結果を示す機能を有していることも判明した。なお、判定方法に関する記述は論文にはなかった。

ハ. 攻撃者の想定

攻撃者に関する想定は主に次の 3 点である。

- 攻撃対象の FLV の内部情報（顔画像の照合モデルなど）を知らない（ブラックボックスの想定）。
- 被攻撃者の静止画を 1 つ入手する（ワンショット・セッティング）。ただし、それを用いて新しい攻撃用モデルを生成することはできない。
- 被攻撃者の静止画からリアルタイムで（FLV のサービスがタイムアウトする前

表 1　6 つの FLV で用いられる顔画像の形態

FLV の種類	顔画像の形態			
	顔の静止画（image）	顔の動画（video）		
		頭部の動作なし		頭部の動作あり（action）
		数字の発音なし（silence）	数字の発音あり（voice）	
F1	**対応**			
F2	**対応**			
F3	**対応**	未対応		**対応**
F4	**対応**			未対応
F5	未対応	**対応**		未対応
F6	**対応**		未対応	

資料：Li *et al.* [2022] Table 1

に）合成動画を生成する。

顔画像の合成はフェイシャル・リエナクトメントとフェイシャル・リプレイスメントをそれぞれ用いて行われた。フェイシャル・リエナクトメントの手法として、X2Face、ICface、FSGAN、FOMM が用いられたほか、フェイシャル・リプレイスメントの手法として FSGAN と FaceShifter が用いられた。音声の合成は、F2 の FLV が提供している音声合成サービスを用いて別途行われたが、その詳細について論文に記述はない。

ニ．実験結果

実験では、合成画像を各 FLV に対して直接送信して最終的に（テンプレート用の）静止画と一致していると誤判定されるか否かを検証した。川名らの実験のように、ディスプレイに合成画像を表示してスマートフォンのカメラで撮影したわけではない。

（イ）　ベースラインの実験

表 1 の F1〜F6 を対象とした実験の主な結果は以下のとおりである。

- 顔の静止画を用いる FLV（5 件）は、FaceShifter による合成静止画に対して 50％以上の確率で一致と誤判定した。
- 頭部の動作と発音がともになしの動画を用いる FLV（5 件）は、FSGAN、FOMM、FaceShifter のいずれかの合成動画に対して、少なくとも約 40％の確率で一致

と誤判定した。

- 発音ありの動画を用いる FLV（4 件）では、頭部の動作と発音がともになしの動画を用いる FLV に比べて、合成動画に対して一致と誤判定する確率が低くなった。ただし、一部の方式（F1）では誤判定の確率が約 60％と高かったほか、唇の動きと音声のタイミングを手掛りとする FLV（F4）も、両者が同期するように合成した動画に対して誤判定の確率が約 60％となった。
- 頭部の動作がありの動画を用いる FLV（F2 と F3〈F1 は実験時に動作せず対象外〉）では、頭部の動作のバリエーションにそれぞれ対応する動画を合成した。そして、FLV による指示があったところで、それに対応する合成動画を FLV に送信した。その結果、FOMM や FaceShifter による合成動画に対して、相応の確率（最大で約 80％）で一致と誤判定した。頭部の動作と音声がともになしの動画を用いる FLV と比較すると、頭部の動作のバリエーションが誤判定の確率に与える影響は限定的であるといえる。

上記の実験で用いられた合成画像は、1 つの合成手法のみによって生成されていた。リーらは、複数の手法を組み合わせて画像を合成すれば誤判定の確率が高まる可能性があると考察している。

（ロ） 別のクラウドの顔認証サービスを対象とする実験

リーらの実験結果は生体検知などが有効に機能しているとは言い難い状況を示した。この結果が他の FLV においても生じるか否かを検証するために、リーらは、別のクラウドの顔認証サービスを対象に同様の実験を行った。主な結果は次のとおりである。

- FLV（4 件）に対して合成画像を直接送信したところ、いずれの FLV も合成画像に対して 50％以上の確率で一致と誤判定した。
- これらの FLV を使用している組織 4 社（フィンテック会社、航空会社、生命保険会社、政府系機関）の各アプリをスマートフォンにインストールしてユーザ登録を行い、当人確認時で合成動画を（カメラ撮影ではなく）アプリに挿入したところ、いずれも誤判定が生じた（誤判定の確率は論文に記載がない）。
- 本人確認のデモ用アプリを提供している FLV（4 件）を対象に、それをスマートフォンにインストールし、当人確認時に合成画像を（カメラ撮影ではなく）アプリに挿入したところ、3 件で誤判定が生じた（誤判定の確率は論文に記載がない）。

追加の実験で用いられた画像の合成手法などの詳細は論文に記載されていないものの、この結果は、当初の実験で対象となった顔認証サービス以外のサービスでも

合成画像に対して脆弱なものが存在することを示したといえる。

8. 考察

(1) なりすましリスクの高まり

合成画像の検知手法について決定打となる手法が確立していないなかで、7節で紹介した実験研究で示されたように、高度な合成画像を用いた提示攻撃をオープン・ソース・ツールによって実行可能になってきている。また、機械学習に関する研究開発の進展により、合成画像を生成するためのスキル、時間、費用は、今後も低下していく可能性が高い。これらを踏まえると、合成画像によるなりすましのリスクが高まっていると考えられる。

スマートフォンを用いたオンラインでの顔認証システムを提供するベンダーや、そのシステムを使用して本人確認などを行う金融機関は、関連する研究動向をフォローしつつ、合成画像を用いた提示攻撃によるなりすましのリスクを再評価する必要があろう。そのうえで、リスクが許容できるレベルを超えていると判断する場合には、そのリスクに適切に対応することが求められる。

(2) 高まるリスクへの対策の検討

なりすましのリスクを再評価した結果、リスクを低減させる必要がある場合には、サービス利用者の利便性に配慮しつつ、追加的な対応を検討することになる。4節(3)で示した手順で合成画像の検知手法を選定・採用することが考えられるものの、既存の検知手法を横並びで比較・比較する方法や枠組みが確立していないことから、現時点で適切な検知手法を選択することは容易でない。

このため、既に効果が評価されている他の認証手段を追加して使用する、顔認証が成功した際に提供するサービスの内容を制限する（取引可能な金額の上限を引き下げるなど）といった対応策が考えられる。

(3) 対策手法の評価

イ. 評価の枠組みの統一化

合成画像によるなりすましのリスクを軽減させる方法として、合成画像を検知する効果的な手法の開発が今後期待される。検知手法の提案に際して、手法の評価に使用されたデータセット（訓練データ、テスト・データ、評価用の合成画像など）が統一されているわけではなく、それぞれの提案者が選択して評価を行うケースが多い。また、データセットを統一した評価の枠組みも確立していない。こうしたなかで、複数の検知手法を適切に比較することは困難である。

今後、検知手法の提案においては、他の手法の評価結果と比較できるように、共通のデータセットを用いて共通の基準で評価した結果が示されることが望まれる。また、統一した評価の枠組みを確立するための研究も重要であるといえる。

この点に関して、さまざまな機械学習ベースの検知手法の効果を同一の枠組みで評価する試みとして、例えば、Khan and Dang-Nguyen [2023]、Yan *et al.* [2023]、Le *et al.* [2024] といった成果が最近発表されている。こうした研究成果が蓄積され、合成画像の検知手法を適切に選択できるようになることが期待される。

ロ. 実際の環境を想定した実験

実験研究に関して、リーらの実験では、ディスプレイに表示した合成画像をスマートフォンのカメラで撮影して照合していない。通常、カメラで撮影した画像は元の画像よりも劣化する。この点を考慮すると、リーらが実験で使用した合成画像をスマートフォンのカメラで撮影して提示攻撃を行ったならば、誤判定の確率が実験の値よりも低い値となっていた可能性がある。提示攻撃の評価をなるべく厳密に行ううえで、合成画像をカメラで撮影して照合するなど、実際の攻撃が行われる環境に近い状態を再現して実験を行うことが望まれる。

9. おわりに

スマートフォンは、金融サービスにおける有望なチャネルとして浸透している。こうした金融サービスを今後さらに充実させていくためには、オンラインでの認証のセキュリティを維持・向上させていくことが必要である。

本稿では、スマートフォンのカメラで取得した顔の動画や静止画による認証システムに焦点を当て、機械学習による合成画像を用いた提示攻撃の手順やセキュリティ要件を示した。また、合成画像の生成手法と検知手法の研究動向を紹介したほ

か、実際の顔認証システムにおけるセキュリティを実験によって評価した事例を紹介した。

これらを踏まえると、合成画像によるなりすましのリスクが高まっているとみられる。顔認証を使用している金融機関は、リスクの高まりにどのように対応するかを検討する必要がある。現状では、合成画像を検知する手法に関して、複数の手法を横並びで評価することが容易でなく、適切な手法を選択することが難しい。したがって、リスクを軽減する方法として、他の認証手段を活用する、顔認証によって実行できる取引を制限するといった手段が当面の候補となる。リスク抑制と利便性向上の両立に向けて、合成画像の作成・検知手法を含め、オンラインでの顔認証の研究の更なる進展が望まれる。

参考文献

川名のん・長沼　健・吉野雅之・太田原千秋・冨樫由美子・笹　晋也・山本恭平、「Deepfake を用いた e-KYC に対するなりすまし攻撃と対策の検討」、『第 35 回人工知能学会全国大会論文集』、1F2-GS-10a-02、人工知能学会、2021 年、1〜4 頁

国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター、「人工知能研究の新潮流 2〜基盤モデル・生成 AI のインパクト〜」、CRDS-FY2023-RR-02、国立研究開発法人科学技術振興機構、2023 年

笹原和俊、『ディープフェイクの衝撃：AI 技術がもたらす破壊と創造』、PHP 研究所、2023 年

Afchar, Daruis, Vincent Nozick, Junichi Yamagishi, and Isao Echizen, "MesoNet: A Compact Facial Video Forgery Detection Network," *Proceedings of 2018 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security*, IEEE, 2018, pp. 1–7.

Ciftci, Umur Aybars, İlke Demir, and Lijun Yin, "FakeCatcher: Detection of Synthetic Portrait Videos Using Biological Signals," arXiv:1901.02212v3, 2020.

Gaur, Loveleen, eds., *DeepFakes: Creation, Detection, and Impact*, CRC Press, 2023.

Khan, Sohail Ahmed, and Duc-Tien Dang-Nguyen, "Deepfake Detection: A Comparative Analysis," arXiv:2308.03471v1, 2023.

Le, Binh M., Jiwon Kim, Shahroz Tariq, Kristen Moore, Alsharif Abuadbba, and Simon S. Woo, "SoK: Facial Deepfake Detectors," arXiv:2401.04364v1, 2024.

Li, Lingzhi, Jianmin Bao, Hao Yang, Dong Chen, and Fang Wen, "FaceShifter: Towards High Fidelity and Occlusion Aware Face Swapping," arXiv:1912.13457v3, 2020.

Li, Xiaobai, Jukka Komulainen, Guoying Zhao, Pong-Chi Yuen, and Matti Pietikäinen, "Generalized Face Anti-Spoofing by Detecting Pulse from Face Videos," *Proceeding of the 2016 23rd International Conference on Pattern Recognition*, IAPR, 2016, pp. 4239–4244.

Li, Changjiang, Li Wang, Shouling Ji, Xuhong Zhang, Zhaohan Xi, Shanqing Guo, and Ting Wang, "Seeing is Living? Rethinking the Security of Facial Liveness Verification in the Deepfake Era," *Proceedings of the 31st USENIX Security Symposium*, USENIX Association, 2022, pp. 2673–2690.

Ming, Zuheng, Muriel Visani, Muhammad Muzzamil Luqman, and Jean-Christophe Burie, "A Survey on Anti-Spoofing Methods for Facial Recognition with RGB Cameras of Generic Consumer Devices," *Journal of Imaging*, 6(12), 139, 2020, pp. 1–56.

Mirsky, Yisroel, and Wenke Lee, "The Creation and Detection of Deepfakes: A Survey," arXiv:2004.11138v3, 2020.

Nirkin, Yuval, Yosi Keller, and Tal Hassner, "FSGAN: Subject Agnostic Face Swapping and Reenactment," *Proceedings of 2019 IEEE/CVF International Conference on Com-*

puter Vision, IEEE, 2019, pp. 7184–7193.

Siarohin, Aliaksandr, Stéphane Lathuilière, Sergey Tulyakov, Elisa Ricci, and Nicu Sebe, "First Order Motion Model for Image Animation," *Proceedings of 33rd Conference on Neural Information Processing Systems*, Curran Associates, Inc., 2019, pp. 7135–7145.

Thies, Justus, Michael Zollhöfer, Marc Stamminger, Christian Theobalt, and Matthias Nießner, "Face2Face: Real-Time Face Capture and Reenactment of RGB Videos," *Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE, 2016, pp. 2387–2395.

Tripathy, Soumya, Juho Kannala, and Esa Rahtu, "ICface: Interpretable and Controllable Face Reenactment Using GANs," *Proceedings of 2020 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, IEEE, 2020, pp. 3385–3394.

Wang, Zezheng, Chenxu Zhao, Yunxiao Qin, Qiusheng Zhou, Guojun Qi, Jun Wan, and Zhen Lei, "Exploiting Temporal and Depth Information for Multi-Frame Face Anti-Spoofing," arXiv:1811.05118v3, 2019.

Wiles, Olivia, A. Sophia Koepke, and Andrew Zisserman, "X2Face: A Network for Controlling Face Generation Using Images, Audio, and Pose Codes," *Proceedings of the 15th European Conference on Computer Vision*, Lecture Notes in Computer Science 11217, Springer, 2018, pp. 690–706.

Xu, Zhenqi, Shan Li, and Weihong Deng, "Learning Temporal Features Using LSTM-CNN Architecture for Face Anti-Spoofing," *Proceedings of 2015 3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition*, IAPR, 2015, pp. 141–145.

Xu, Yi, True Price, Jan-Michael Frahm, and Fabian Monrosec, "Virtual U: Defeating Face Liveness Detection by Building Virtual Models from Your Public Photos," *Proceedings of the 25th USENIX Security Symposium*, USENIX Association, 2016, pp. 497–512.

Yan, Zhiyuan, Yong Zhang, Xinhang Yuan, Siwei Lyu, and Baoyuan Wu, "DeepfakeBench: A Comprehensive Benchmark of Deepfake Detection," arXiv:2307.01426v2, 2023.

Yang, Jianwei, Zhen Lei, and Stan Z. Li, "Learn Convolutional Neural Network for Face Anti-Spoofing," arXiv:1408.5601v2, 2014.

Yang, Xiao, Wenhan Luo, Linchao Bao, Yuan Gao, Dihong Gong, Shibao Zheng, Zhifeng Li, and Wei Liu, "Face Anti-Spoofing: Model Matters, So Does Data," *Proceedings of 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE, 2019, pp. 3507–3516.

Zakharov, Egor, Aliaksandra Shysheya, Egor Burkov, and Victor Lempitsky, "Few-Shot Adversarial Learning of Realistic Neural Talking Head Models," *Proceedings of 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, IEEE, 2019, pp. 9458–9467.

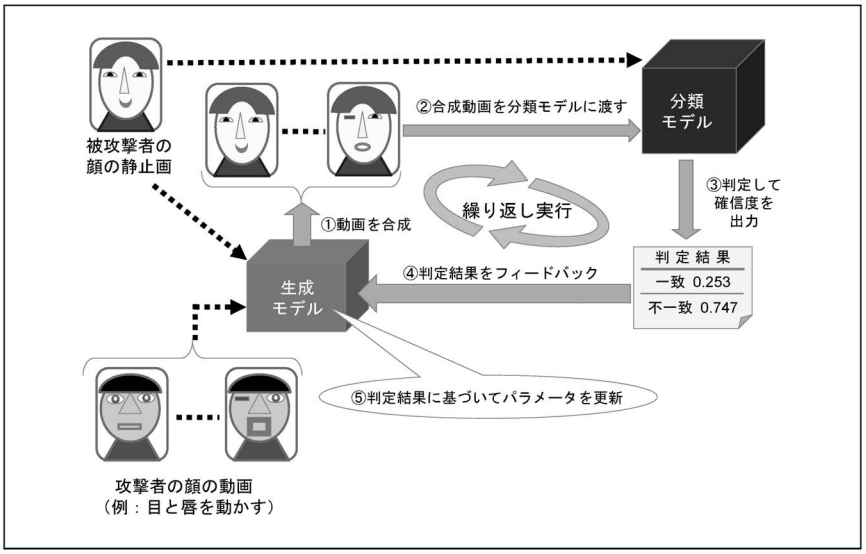
補論．GAN による画像合成用モデルの生成

GAN（generative adversarial network）は、画像などを生成するモデル（生成モデル〈generator〉）と、生成されたデータと参照データとを照合・識別するモデル（分類モデル〈discriminator〉）をそれぞれ準備し、2 つのモデルを競争させるようにして双方のモデルを同時に学習する手法である。

GAN はフェイシャル・リエナクトメントの手法において使用されることが多い。顔画像を合成するモデルを GAN によって生成する際の基本的な処理の流れは次のとおりである（図 A-1 を参照）。

① 生成モデルは、被攻撃者の顔の静止画と攻撃者の顔の動画を基に動画を合成する。
② 生成モデルは合成動画を分類モデルに渡す。
③ 分類モデルは、被攻撃者の顔の静止画を参考にしながら、合成動画が静止画と一致するか否かを判定して確信度を出力する。
④ 分類モデルは判定結果（確信度など）を生成モデルにフィードバックする。
⑤ 生成モデルは判定結果に基づいて自身のパラメータを更新する。
⑥ 上記の①～⑤のプロセスが一定の条件（例えば、分類モデルの確信度が 95％以上となる）が満たされるまで繰り返され、最終的に得られた生成モデルを顔画像合成用のモデルとする。

図 A-1　GAN による顔画像合成用モデルの生成の流れ



量子鍵配送の安全性証明の進展と普及に向けた課題

菅（かん）　和聖（かずとし）／佐々木寿彦（ささきとしひこ）

要　旨

本稿では、量子鍵配送を用いた暗号通信の安全性証明の進展を概観するとともに、量子鍵配送を用いた暗号通信の意義と課題について考察する。量子鍵配送は、量子力学的な性質と既存の暗号技術を組み合わせることにより、盗聴者が無限の計算能力を有しても解読できない情報理論的安全性を保証できる。このため、公開通信路から暗号文を複製しておき、後から解読するハーベスト攻撃を始めとする任意の攻撃や盗聴に対して耐性を持たせることができる。その安全性証明にはさまざまなバリエーションがあり、1984 年に最初期の量子鍵配送プロトコル BB84 が発表されて以来、通信方式の進化や装置不完全性を悪用する実装攻撃を考慮する方向で理論が進展している。2020 年には、既存の光回線と併存しやすい連続量量子鍵配送方式（CV 方式）に対して初めて安全性証明が付与された。これらの利点がある一方で、量子鍵配送は、専用の通信装置を要するため暗号化通信網を構築するコストが高い。現時点で量子鍵配送は、複数拠点間で機密度の極めて高い情報を送受信する場合に適している。その普及に向けては、量子中継などの技術開発、通信性能の向上、通信方式の標準策定、通信装置の安全性に関する確認・認証の制度的枠組みの整備が課題である。

キーワード：　量子鍵配送、連続量量子鍵配送（CV-QKD）、実装攻撃

本稿は、日本銀行金融研究所からの委託研究論文である。本稿の作成に当たっては、玉木潔教授（富山大学）、國廣昇教授（筑波大学）、藤原幹夫氏（情報通信研究機構）および福島優氏（情報通信研究機構）から有益なコメントを頂戴した。ここに記して感謝したい。ただし、本稿に示されている意見は、筆者たち個人に属し、日本銀行や東京大学の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者たち個人に属する。

菅　和聖　日本銀行金融研究所企画役（E-mail: kazutoshi.kan@boj.or.jp）
佐々木寿彦　東京大学講師（E-mail: sasaki@qi.t.u-tokyo.ac.jp）

1. はじめに

量子鍵配送（quantum key distribution: QKD）は、光子の状態を利用して表現される量子ビットに暗号鍵の情報を埋め込み、量子ビットが持つ量子力学的な性質によりその情報を安全に守る通信プロトコルである。現在、インターネットにおいて標準的に利用される RSA（Rivest-Shamir-Adleman）暗号や楕円曲線暗号は、理論的には、十分な性能を備えた量子コンピュータによって効率的に解読されてしまうことが知られている[1]。QKD は、量子コンピュータの脅威に対して安全な暗号技術の 1 つであり、量子力学的な性質を用いない耐量子計算機暗号（post quantum cryptography: PQC）と並ぶ重要な選択肢であるとされる。現在、世界中で QKD を用いた暗号通信の実証実験が進められている[2]。QKD を用いた暗号通信は、まず二者間で任意の乱数（鍵）を共有する QKD を実行し、その後、共有された鍵と古典暗号（ワンタイム・パッド、one-time pad）を用いて安全に任意のメッセージを送信するプロトコルである。以下では、QKD について論じる。

QKD の強みは、盗聴されていないことを保証し、情報理論的安全性（information-theoretic security）を確保できる点にある。情報理論的安全性は、攻撃者が無限の計算能力を有している場合や、物理法則で許される任意の盗聴が行われる場合にも保証される強力な性質である。将来的なコンピュータの能力向上や暗号解読アルゴリズムおよび盗聴技術の進歩の影響を受けることがないため、無期限で通信内容の秘匿性が確保できる。この性質により、理想的な量子コンピュータによる暗号解読の脅威に対しても、QKD は安全であるとされる。とりわけ、公開通信路を通過する暗号文を蓄積しておき、計算能力が向上した将来に解読を試みるハーベスト攻撃（harvest attack）[3] にも耐性がある点は、PQC にはない QKD の最大の利点である。PQC や RSA 暗号などは、計算量的安全性（computational security）に依拠しており、その安全性は攻撃者の計算能力と暗号解読アルゴリズムの効率性に依存している。このため、将来における予期せぬ計算能力の向上やアルゴリズムの進歩の脅威に対しては原理的に対処できず、ハーベスト攻撃にも安全性を確保することが難しい。

ただし、QKD プロトコルにはさまざまなバリエーションがあり、それぞれの安

1 RSA 暗号と楕円曲線暗号が解読困難であることは、それぞれ素因数分解問題と楕円離散対数問題の求解が効率的にできないとの仮説に依拠している。量子コンピュータは、ショアのアルゴリズムによってこれらの問題を効率的に（多項式時間で）解けることが理論的に知られている。ただし、暗号解読に利用できる量子コンピュータの要求スペックは非常に高く、実現の見通しは立っていない。

2 日本では東京 QKD ネットワーク（藤原［2023］）、欧州では SECOQC（Secure Communication based on Quantum Cryptography）ネットワーク、欧州連合（EU）27 ヵ国による EuroQCI（European Quantum Communication Infrastructure）ネットワーク、中国では上海と北京を結ぶ 4,600 キロメートルの QKD ネットワーク等の実証実験が行われている。

3 ハーベスト攻撃は、「store now, decrypt later attack」とも呼ばれる。

全性には数学的証明による裏付けがあるものの、実装方式の安全性は不透明なものも多い。実装された QKD が理論通りの安全性を達成するには、以下の 3 つの条件が必要である。

（a）採用した通信方式とプロトコルに安全性証明が付与されていること
（b）安全性証明で仮定する通信装置（装置モデル）が現実的であること
（c）実装された通信装置が（a）の安全性証明における装置モデルのとおりに動作すること

条件（a）は、QKD としてさまざま通信方式やプロトコルが提案されている中、そのすべてに完全な安全性証明が付与されているとは限らないために必要となる。2021 年、既存の光通信技術との親和性が高い連続量量子鍵配送（continuous-variable quantum key distribution: CV-QKD、詳しくは 3 節（3）ロ．を参照）と呼ばれる方式について、初めて情報理論的な安全性証明（Matsuura *et al.* [2021]）が与えられた。

条件（b）は、安全性証明が、通信装置に関する実現可能な仮定に基づくことを要請している。理論上都合のよい仮定のもとで証明された安全性が、実際の通信で保証されるとは限らない。というのも、通信装置自体の雑音によって仮定が満たされない可能性や、通信装置に攻撃者が直接働きかけることなどにより秘密の情報を盗み取る実装攻撃（implementation attack、詳細は 4 節（1）ハ．を参照）のリスクがあるためである。このため、近年の安全性証明の理論は、通信装置が現実的に満たすことができる性質（不完全性）を考慮する方向で進展した。

条件（c）は、通信装置がセキュリティ仕様を満たすことを要請する。ユーザ企業が仕様の充足を確認することは現実的ではないため、通信装置の性能と安全性を検証し、その結果を認定する制度的枠組みを整備することが QKD の普及に向けたカギの 1 つとなる。

このように、QKD の実用化に向けた研究開発は盛んに進められているものの、上記（a）～（c）を充足しつつ十分な性能を発揮する QKD 方式の開発と実用化にはまだ時間を要すると見込まれる。また、QKD の実用化にはネットワーク構築コストも必要になる。このため、量子コンピュータの脅威への対策として具体的な検討が進められているのはもっぱら PQC であり、現在主流となっている現代暗号から PQC へ移行する機運が高まっている。米国標準技術研究所（National Institute of Standards and Technology: NIST）では PQC の標準化を進めており、候補となる暗号方式を公募のうえ、審査を行っている。NIST が公表した第 3 ラウンドの審査レポート（NIST [2022]）では、鍵共有のための公開鍵暗号（鍵カプセル化メカニズム、key encapsulation mechanism）の標準として CRYSTALS-KYBER を採用するとともに、第 4 ラウンドにおいて他の候補の審査を継続する旨が示された。暗号移行の動機は、理想的な量子コンピュータの登場への備えを含めて、ハーベスト攻撃に

よる脅威への対策である。今後の動きとして、量子コンピュータの実現可能性の動向にかかわらず、より早期に、より強力な暗号に移行していくことが見込まれる。その際、PQC への移行を進めるとしても、QKD と PQC の相対的な性質の違いを理解しておくことは、QKD の導入の是非や PQC との使い分けを考慮するうえで有用である。

PQC への移行は、暗号化モジュールが組み込まれたハードウェアの更新を要する場合、10 年以上の期間を要する可能性がある。他方、QKD の導入も、ネットワークを新たに構築する必要があるため、その実用化には相応の準備期間を要すると見込まれる。このため、暗号利用の将来像について検討する場合には、早期に着手することが望ましい。とくに厳格な情報管理が求められる金融機関においても、QKD の安全性と応用可能性、実用化に向けた課題を正確に理解しておくことは、長期的な暗号利用の戦略を立てるうえで重要である。

以上を踏まえ、本稿の 2 節では、QKD の位置付けを整理する。3 節では、QKD の基礎を解説する。4 節では、QKD の安全性証明を概観する。5 節では、QKD の普及に向けた課題について考察する。

2. QKD を用いた暗号通信の位置付け

本節（1）では、まず公開鍵暗号における量子コンピュータの脅威を解説する。次に、本節（2）および本節（3）では、PQC と QKD の原理をそれぞれ解説する。これらを踏まえて、本節（4）では、QKD の相対的な強みと弱みを整理する。

(1) 公開鍵暗号と量子コンピュータの脅威

古典通信で用いられる暗号は、共通鍵暗号（symmetric key encryption）と公開鍵暗号（public key encryption）に分けられる。共通鍵暗号は、送受信者があらかじめ秘密の情報（暗号鍵）を共有していることを前提に、高速での暗号通信ができる。公開鍵暗号は、そうした前提なしに暗号通信ができるが、処理速度が遅い傾向がある。こうした両者の特長を活かし、実用的な通信では、共通鍵暗号によりデータ本体を安全に送信し、共通鍵暗号に使用する鍵は公開鍵暗号により共有する方法が主流である。

現在主流となっている公開鍵暗号は、RSA 暗号と楕円曲線暗号である。これらの暗号の安全性は、巨大な整数の素因数分解問題や楕円離散対数問題が現実的な時間では求解できないとの仮定のもとで保証されている。一般に、特定の計算問題の求

解困難性を仮定して証明される安全性を、計算量的安全性（computational security）と呼ぶ。計算量的安全性は、コンピュータの能力向上や計算問題を求解するアルゴリズムの進歩に伴って徐々に低下していくものであり、期限付きの安全性といえる。このため、実務では、暗号鍵の鍵長を長くしていく運用がとられている。計算量的安全性に依拠する暗号方式は原理的にハーベスト攻撃への対処が困難であるため、超長期にわたって秘密を保持すべき情報を送信する主体にとって、同攻撃は現実的な脅威である。とりわけ、RSA 暗号と楕円曲線暗号については、理論的には、十分な性能を備えた量子コンピュータによって効率的に解読できることが知られている。そうした量子コンピュータが登場すれば、ハーベスト攻撃により、それ以前に蓄積された暗号文も含めて解読されてしまう可能性がある。

(2) PQC との比較

本節（2）では、QKD と比較されることが多い PQC について概観する。量子コンピュータによる暗号解読の脅威への対応方法の一つは、現行の暗号を、解読をするのにより強力な計算能力を要する安全なものに変更することである。量子コンピュータに対しても安全性を確保できる暗号を、耐量子計算機暗号（PQC）と呼ぶ。

PQC の安全性は、量子コンピュータと古典コンピュータを利用しても効率的に求解できない（と信じられている）計算問題の難しさによって保証されている。これらの求解困難性は、計算量理論的には NP 困難[4] と呼ばれる難しい計算問題のクラスと関係が深い[5]。もっとも、こうした理論的な保証は、計算問題の入力データのサイズを無限に大きくしていく際の、計算量の漸近的な振舞いの解析に基づくものである。このため、PQC において実用的な鍵長やセキュリティ・パラメータに対応する有限サイズの計算問題が、現実的な時間で解けないことを保証するものではない点には注意が必要である。

現実的な時間で暗号が解けないとの評価は、将来の暗号解読アルゴリズムの進歩やコンピュータの能力向上に関する予測に基づいている。このため、PQC も、RSA

4 NP 困難（NP-hard）とは、直感的には、効率的な解の発見は困難だが、解の候補が与えられたときに解であるか否かを効率的に判定できるような難しい計算問題のクラスを表す。より正確には、NP 困難は、NP（non-deterministic polynomial）に属するどの問題よりも同程度以上に難しい計算問題のクラスである。NP は、非決定的多項式時間アルゴリズムによって解ける計算問題のクラスである。

5 これらの計算問題の求解困難性は、問題のパラメータの分布に依存する。さらに、さまざまなパラメータが与えられたもとでの平均的な計算量、または、最悪ケースでの計算量のいずれを計算困難性の評価に採用するかによって、暗号の安全性評価の解釈が変化する。暗号の安全性評価では、平均計算量のほうが望ましい。NIST が公開鍵暗号の標準として採用するとした格子ベースの PQC（CRYSTALS-KYBER）は、パラメータがランダムなもとで、平均計算量に基づいて安全性証明が与えられている。

暗号のように、時間とともに鍵長を長くするなどの運用が想定されている。もっとも、将来予測に対する不確実性は大きい。とくに、暗号解読のために十分な性能を備えた量子コンピュータについては、ひとたびそれが実現した場合の影響は甚大であるため無視はできないものの、実現する確率は極めて低く、予測困難なテール・リスクとの見方が少なくない。計算量的安全性では、こうしたリスクを完全に取り除くことは原理的に不可能である。

PQC の実証実験は進捗しているが、実装攻撃への耐性とアルゴリズムの安全性に関して十分に高い信頼を獲得するには時間を要すると考えられる。この点、RSA 暗号は、20 年を超える利用実績と実装ノウハウの蓄積から信頼性が高い。このため、RSA 暗号と PQC の両方を使って二重に暗号化するハイブリッド・モード（hybrid mode）が、IETF（Internet Engineering Task Force）において標準として検討されている。また、PQC とは複数の暗号の総称であり、その中から適切な暗号を柔軟に選択できるクリプト・アジリティ（crypto-agility）の実現も課題となっている。ハイブリッド・モードやクリプト・アジリティを巡る最近の議論については、宇根［2023a, b］および菅野［2023］を参照されたい。

PQC は、QKD とは異なり、原理的に盗聴の検知ができない。なぜならば、古典ビット[6] の場合、元の古典ビットの情報を書き換えることなく複製できるため、公開通信路上で送信される古典ビットを攻撃者が痕跡を残さずに複製できるからである。そして、当然ながら、盗聴された情報を将来的に暗号解読能力が向上してから解読するハーベスト攻撃を阻止できない。これに対して、QKD では事後的に盗聴を検知（統計的手法により有無を推定、詳しくは本節（3）を参照）できるため、盗聴が疑われる部分の情報を捨て去ることによって、盗聴リスクのない安全な鍵を共有できる。このように、攻撃者は鍵の情報を入手できないため、ハーベスト攻撃を実行できない。これは、量子力学的な性質を利用した QKD の長所であり、すべての情報を古典ビット列で表す古典暗号（PQC を含む）では達成できない。

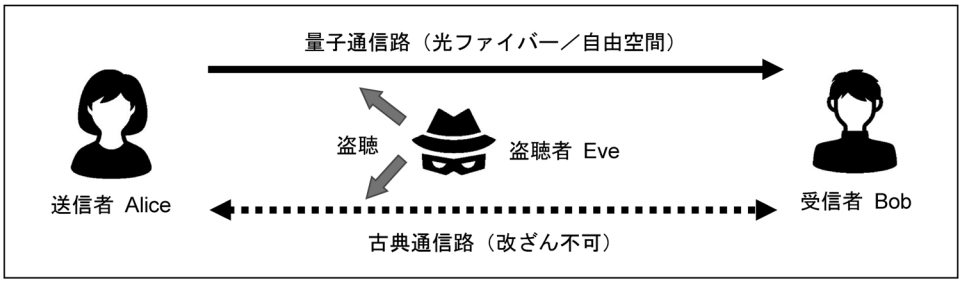
（3） QKD の原理

量子コンピュータによる暗号解読の脅威に対するもう一つの対応策は、QKD である。QKD は、量子力学的性質を巧みに利用し、プロトコルを適切に設計することによって情報理論的安全性を達成する。本節（3）では、QKD の原理を解説する。

QKD では、量子ビットを送信する量子通信路と、古典ビットを送信する古典通信路の 2 つの経路を利用する（図 1 参照）。量子通信路は、繊細な量子ビットを送

6 古典ビットとは、「0」または「1」を表現する状態である。古典ビットのみを用いて演算処理を行う装置を「古典コンピュータ」と呼ぶ。平文および暗号文が古典ビット列で表現される暗号を「古典暗号」と呼ぶ。

図 1　QKD の概略図



信するために低ノイズ環境を実現しているが高コストであるため、古典ビットを量子通信路で送受信する費用対効果は悪い。そこで、効率よく確定的な情報（暗号鍵）を共有するために、通常は古典通信路もあわせて利用される。古典通信路については、攻撃者は通信内容を盗聴できるが、なりすましや通信内容の改ざんはできない、との前提が置かれる。この前提を満たすには、相手認証とメッセージ認証の機能を利用できることが必要条件となる。これらの認証方法は、QKD のプロトコル全体の安全性を評価するうえで重要な論点であるが、ここでは安全な認証が可能であると仮定する。認証に関する論点については、5 節（2）で詳しく説明する。

量子ビットは、「0」と「1」の両方の状態を同時にとることができる。こうした状態を重ね合わせ状態（superposition）という。また、任意の未知の量子ビットの状態は複製できない。これは、複製不可能定理（no cloning theorem）と呼ばれる量子力学において導かれる数学的帰結であり、古典ビットにはない重要な性質である。換言すれば、量子ビットの情報は、その状態に一切の影響を与えずに読み出すことが不可能である。

量子ビットから情報を読み出す際には、測定（measurement）と呼ばれる行為を行う。一般に観測者は、未知の量子ビットの状態の情報を完全に知ることはできず、測定を通じて確率的に一部の情報を得るだけである。ただし、量子ビットが複数の既知の状態のいずれかである（がいずれかはわからない）という状況に限定すれば、測定方法によっては確定的に状態を特定できる場合がある[7、8]。

例えば、観測者がある量子ビットについて「0」と「1」を区別するための測定を行う状況を考える。測定される量子ビットが「0」または「1」の状態であった場合には、「0」と「1」を確実に特定できる。測定される量子ビットがそれら以外の重ね合わせ状態の場合には、重ね合わせの度合いに応じた確率で「0」または「1」と

7 既知の状態が互いに直交している場合（直交状態の場合）には、確定的に特定できる。量子状態の測定では、観測者が区別したい量子状態に応じて適切な測定方法（観測の基底）を選択する必要がある。量子状態の直交と基底選択の詳細については、本稿では割愛する。詳しくは、Nielsen and Chuang [2010] などの量子計算の基本書を参照されたい。

8 QKD は、盗聴を防止するために直交状態を利用しない。

の測定結果を得られるが、量子ビットの状態を確定的には特定できない。

QKD は、こうした限定的な測定結果と量子ビットの性質を通信プロトコルに応用し、盗聴の有無を事後的に推定し、盗聴が疑われる量子ビットの情報を捨て去ることにより、安全に乱数列を共有するプロトコルである。ただし、送信する量子ビットのうち、どの部分が盗聴されるかは事前にはわからないため、QKD でメッセージの暗号文を直接送信することはできない。これが、QKD で共有できる情報が、あくまで乱数列に限られる理由である。また、盗聴の影響と、環境によるノイズの影響を区別することはできないため、実際に盗聴があったと断定することもできない。盗聴は量子ビットから情報を抜き出す行為であるため、量子ビットの状態を変化させてしまう。送受信者は、巧みに設計された QKD プロトコルに従うことにより、（環境のノイズや盗聴など何らかの理由による）量子状態の変化をとらえることはできるが、そうした変化の原因を特定することまではできない。したがって、QKD の安全性解析では、量子状態のあらゆる変化はすべて盗聴によるものであるとみなすことで、変化の原因いかんにかかわらず安全であることを証明する枠組みとなっている。

乱数列が安全に共有された状態で、情報理論的に安全な古典暗号であるワンタイム・パッドを組み合わせると、任意のメッセージを安全に共有できる。このときのメッセージの長さが、共有された乱数列と同じ長さであれば、メッセージは情報理論的安全性を確保できる[9]。

（4） QKD の位置付け

QKD は、量子コンピュータによる暗号解読への対応策との観点から PQC と比較されることが多い。実際、5 節（1）で紹介するとおり、各国のホワイト・ペーパーやポジション・ペーパーをみても、そうした観点からの比較に基づいて、QKD に対して否定的な評価を与えている。もっとも、そうした評価は、インターネットにおいて広く利用されている汎用途の暗号技術としての評価である点には注意を要する。以下では、QKD と、それ以外の鍵共有手法として、現代暗号（RSA 暗号、楕円曲線暗号）、PQC、信頼できる人による乱数の直接運搬（Trusted Courier）を比較する。

後段の表のとおり、現時点の技術水準では、QKD と最も応用例が近い比較対象は、人手による運搬（Trusted Courier、以下では Trusted Courier と呼ぶ）である。

9 例えば、安全に共有された乱数列を $x = 010111$、送信したいメッセージを $y = 111000$ とする。ワンタイム・パッドによる暗号文は、各ビットの排他的論理和 $z = x \oplus y = 101111$ で定められる。このとき、乱数列 x の情報が攻撃者に全く知られていないとき、暗号文 z からメッセージ y の情報は全く漏洩しないこと（情報理論的安全性）が保証される。

表　QKD と他の鍵共有手法の比較

	RSA 暗号、楕円曲線暗号（RSA、ECC）	耐量子計算機暗号（PQC）	量子鍵配送（QKD）	人手による運搬（Trusted Courier）
手法	公開鍵暗号	公開鍵暗号	量子暗号通信	人間による直接配送
安全性	計算量的安全性	計算量的安全性	情報理論的安全性	—
安全性の原理	素因数分解問題等の求解困難性	NP 困難問題の求解困難性（注 1）	量子力学的性質（物理法則）	運搬手段の秘匿性と信頼性
量子コンピュータへの耐性	×	△	○	○
盗聴検知	×	×	○	×（ただし、運搬中の情報の窃取は困難）
実装攻撃への耐性	信頼性が高い	十分ではないためハイブリッド方式が推奨される	対策は考慮されているが検証枠組みは未整備	信頼性が高い
専用装置	不要	不要	DV-QKD は既存の光通信との回線共有が困難 CV-QKD は既存の光通信との回線共有が容易	不要
通信形態	多対多	多対多	多対多	1 対多
保護の範囲	End-to-End	End-to-End	通信装置間のみ中継装置も要保護（注 2）	End-to-End
相手認証	○	○	PQC による認証の場合は、認証部分のみ計算量的安全性に基づく Wegman-Carter 認証では少量の乱数の事前共有が必要	運搬者の本人確認

備考：（注 1）PQC は複数の暗号アルゴリズムがあり、安全性の根拠となる計算問題もこれに応じて複数ある。
（注 2）量子中継が実現された場合には、中継装置内部での盗聴を検出できるため、中継装置に要求される保護の強度は下がる。

Trusted Courier は、基本的には 1 対 1 での通信に適している。多数の拠点に乱数を運搬できれば 1 対多の通信手段としても活用できるが、多対多の通信手段には不向きである。これは、事前に行う鍵（乱数列）の輸送に時間を要するほか、一定期間に通信するメッセージの総量と同じ長さの鍵を安全に管理する負担が生じるためである。これに対して、QKD は、通信経路が確保されていれば、多対多の拠点間通信に相対的に適しており、通信の都度、高速で鍵を共有することができる。

前述のとおり、QKD の最大のメリットは情報理論的安全性である。QKD は、秘匿性を守る期間が超長期に及ぶ場合や、機密度が極めて高い情報を取り扱う場合において、（多対多でも）限られた拠点間での通信に向いている。例えば、生命保険会社が取り扱う遺伝子情報や、金融機関が取り扱う一部の信用情報がこれに該当しうる。ただし、送信者の建物と受信者の建物の間の基幹線のみを QKD で守る場合には、受信者側では、QKD の受信装置から各利用者の端末までの間（last one mile）

の通信内容について、別途の手段で秘匿する必要が生じるケースも想定される。また、量子中継（quantum relay）[10] の技術が確立していない現状では、現在の中継装置を信頼する必要がある。

他方、10 年程度で機密解除できる程度の情報であれば、PQC がコスト面で適していると考えられるし、金融機関のワンタイム・パスワード生成器などによって共有した乱数列の安全性を何らかの理由で信頼する場合にも、QKD の優位性は下がる。また、QKD は、通信相手の真正性を確認する相手認証を提供しないため、こうした認証手段は別途必要になる。この点については、5 節（2）で考察する。このように、QKD と PQC では、安全性、用途、前提条件などが大きく異なるため、適切な使い分けが重要である。

3. QKD の基礎

（1） 量子ビットの光への埋込み

QKD では、量子ビットの情報を運ぶ媒体として、常温でも安定しており最速で移動できる光が利用される。量子ビットの例として、偏光（polarization）と呼ばれる光の状態を利用するものがある。光は電磁波の一種であり、自然状態では電場や磁場がさまざまな方向に振動しているが、偏光フィルタを通過させて、特定の方向のみに振動する光を抽出したものを偏光と呼ぶ。この振動の方向（角度）に送信したいデジタルな情報を埋め込む[11] が、偏光には、振動の方向が一定の直線偏光（典型例は、0 度、45 度、90 度、135 度の 4 状態）のほかにも、光の進行に伴い振動の方向が回転する円偏光（右回り、左回り）もあり、こちらを用いることもある。また、偏光の替わりに、位相差の制御された 2 つの光パルスを用いることもある。これらのいずれを用いて量子ビットを実現しても、理論的には等価である。

単一光子を量子ビットとして扱う QKD プロトコルは、安全性の理論的証明が容易である一方、実装上は、単一光子の生成を完全に制御することは難しい。このため、実用上は、エネルギーを 1 光子レベルに落とした微弱な光パルス（短時間のレーザー光）を用いるのが一般的である。

10 量子中継は、中継装置が量子ビットを受信し、次の中継装置に転送する間に、古典ビットへの変換を行わない中継方式を表す。

11 古典通信の場合には、光の点滅によってビットの「0」と「1」に対応させて、送信したい情報を表現する。

(2) QKD の通信路と中継装置

量子通信路は、地上間通信であれば光ファイバー・ケーブル、衛星地上間通信であれば大気となる。この点、通常の古典光通信や衛星通信と同様である。ただし、量子通信の場合、光信号の強度が極めて弱いため、通信路において許容されるノイズは極めて小さい。QKD の実現方式によっては、1 光子レベルの信号を取り扱うことになるため、ノイズが大きくなる長距離通信での実現は困難となる。このため、一定間隔で信頼できる中継地点（trusted node、または、trusted point）を設ける必要がある。

一般的に、中継地点の間隔を長くとるほど、ネットワーク構築のコストは低下する反面、通信路による光の減衰の影響を受けて暗号鍵の生成速度が低下する。執筆時点（2024 年 2 月）では、最も典型的な QKD の実現方式であるデコイ BB84 方式[12]（Hwang [2003]、Lo, Ma, and Chen [2005]、Wang [2005]）では、光ファイバーの通信距離が 50 キロメートル伸びるごとに、鍵生成の速度が 10 分の 1 に低下している。50 キロメートルの通信速度は高々 1 秒当たり 1 メガビット程度であるため、鍵生成に求める速度に応じて中継地点の距離が制約を受けることとなる。

中継の方法には、古典中継と量子中継がある。

- 古典中継では、各中継装置において、量子ビットの情報を読み出して古典ビットに変換してから、再び量子ビットを作成して次の中継装置に送信する。各中継装置の内部にある古典ビットの情報が漏出しないように、中継装置を厳重に保護する必要がある。
- 量子中継は、実質的には、通信路による光の減衰の影響を除去する方法である。この方法は、古典ビットへの変換がないため、中継装置の厳重な保護は不要となる。もっとも、実用的な量子中継の技術は現時点で確立していない。

(3) QKD 方式の分類

QKD の実証実験や商用化において、最も典型的に用いられるのはデコイ BB84 方式であるが、それ以外にもさまざまな通信方式が提案されている。これらは、送受信方式、光検出器、通信装置の信頼性に応じて分類される。

12 BB84 方式については、本節（4）を参照されたい。デコイ BB84 方式は、BB84 方式において単一光子の代わりに安価で扱いが容易な微弱なレーザー光（光パルス）を用いる方式。送信者は、事前に数種類の中からレーザー光の強度をランダムに選択し、その強度のレーザー光を送信することにより、単一光子を使った方式と同等の性能を確保できる。

イ．送受信方式による分類

2 者間での送受信方式に応じて、QKD プロトコルは以下の 3 つに分類できる。

- Prepare-and-Measure（PM）方式：一方が光を送信し、他方が光を測定する方式。具体例は、BB84 方式やデコイ BB84 方式である。
- Measurement-Device-Independent（MDI）方式（Lo, Curty, and Qi [2012]）：双方が光を送信し、中間地点にある観測装置がそれらの光を干渉させたうえで測定し、その結果を公開する方式。具体例は、ツイン・フィールド（Twin-Field）方式（Lucamarini *et al.* [2018]）である。
- Entanglement-Based（EB）方式：中間地点にある通信装置が、相関をもった光の対（量子もつれ[13] 光子対）を生成して送信者と受信者に片方ずつを送り、それぞれが受け取った光を測定する方式。具体例は、BBM92 方式 (Bennett, Brassard, and Mermin [1992]) や E91 方式（Ekert [1991]）である。

それぞれの特徴について述べると、PM 方式は最も単純な方式であり、既に製品として売られているものが多い。

MDI 方式では、通信路の中間地点に観測装置を置く必要がある。この方式の利点は、この観測装置が仮に盗聴者の完全な制御下に置かれているような場合であっても盗聴行為をエラーとして検知可能であり、仮に中間地点の測定結果を信頼できなくてもプロトコルの安全性が保証されることである。また、具体的なプロトコルにもよるが、PM 方式と比較して、距離による性能低下の影響を半減（換言すれば、同程度の性能低下をもたらす通信距離を 2 倍に）できる。

さらに、MDI 方式では、正規の通信者は 2 者とも送信装置を用いていることから、一般に受信装置に対する攻撃が多いとされる実装攻撃に対しても頑健といえる。この点、一般に受信装置は、盗聴者の影響を受ける通信路からの信号を受け入れる必要があるため、送信装置よりも実装攻撃のリスクが高いと考えられている。実装攻撃については、4 節を参照されたい。

EB 方式では、量子もつれ光子対を発生する特殊な光源が必要となることから、他の方式と比べてコストや手間がかかる傾向にあり、通常は利用されない。しかし、必要とされる乱数生成器を削減できるといった利点がある。また、特定の光ファイバーを選択する必要はあるが、周波数多重化通信をする場合において有用との見方もある（Wengerowsky, *et al.* [2018]）。

ロ．光検出器による分類と CV-QKD の優位性

QKD プロトコルは、光検出器に応じて、DV-QKD 方式と CV-QKD 方式の 2 つに

13 量子もつれ（quantum entanglement）の関係にある粒子の観測結果は、どれだけ離れていても互いに相関を持つ。量子もつれは、量子コンピューティングにおいて重要な量子力学的性質であるが、QKD では必須ではない。

分類できる。DV、CV という名前は、もともとは送受信する情報が離散量であるか、連続量であるかという違いに由来した。もっとも、今日では、CV-QKD 方式でも離散量の情報を送信する場合があることから、DV、CV という接頭語は、単純に使用する検出器の違いを表すものとなった。

- Discrete-Variable（DV）方式：光子検出器を使用する方式であり、単一光子の有無を検出する。例えば、偏光フィルタ（または、偏光ビーム・スプリッター）の後ろに光子検出器を配置することで、偏光の角度がわかる。これまでに述べてきた QKD プロトコルは、すべてこちらの方式に該当する。
- Continuous-Variable（CV）方式：光検出器を使用する方式であり、ホモダイン検出またはヘテロダイン（デュアル・ホモダイン）検出[14] により光の振幅を観測する。送信者は、光の振幅に情報をエンコードしている。歴史的には GG02 方式（Grosshans *et al.* [2003]）が有名だが、近年の方式は、特定の名前を冠していないものが多い。

光子検出器は、単一光子という極めて微弱な光の有無を検出する装置である。実際に使われる光子検出器では、0 光子か 1 光子以上かを判別する。この検出を on-off 光子検出と呼ぶ。単一光子の性質を利用する DV-QKD 方式は、量子状態を簡素に記述できることから、安全性証明を与えやすい。他方、これと近い周波数で行われる古典通信において使用する強い光の影響を受けやすいという留意点があるほか、光子検出器が高価であることから安価に DV-QKD を実装するのは現状困難である。

光検出器は、光の強度を検出する装置であるが、単一光子ほどの微弱な光は検出できない。このため、ホモダイン検出およびヘテロダイン検出では、単一光子レベルの微弱な光を、レーザー光と干渉させて実質的な増幅を行ってから光検出器で測定する。CV 方式は安価な光検出器により実装できる方式であるため、DV 方式と比較してコスト面で優位性がある。

CV 方式のもう一つの利点は、古典通信と光ファイバー網を共有できる点である。一般に、光通信では、波長の異なる光パルスに独立に信号をのせることにより、1 本の光ファイバー通信を多重化し、通信容量を増大できる。こうした通信技術を波長多重と呼ぶ。とくに、CV 方式で用いる光の測定方式は、狙った波長の光だけを選択的に取り出す波長フィルタとして高い性能（モード選択性）を持っているため、異なる波長の光信号の影響を受けにくい。このため、CV-QKD は、DV-QKD と

14 微弱な光信号を測定するための検出技術である。周波数の異なる雑音光の影響を受けにくいという特長がある。ホモダイン検出では、測定対象の光が参照光と合波されて増幅されたのちに、検出器により電気信号に変換される。この際、測定対象の光と参照光は同一周波数である必要がある。ヘテロダイン（デュアル・ホモダイン）検出は、入力光を 2 つに分配して、4 分の 1 波長分だけ異なる位相にした参照光でそれぞれホモダイン検出する方式である。

比較して頑健であるといえる。この波長多重を応用して、CV-QKD に専用の波長を割り充てることで既存の光通信と併存させられれば、光ファイバー網を新たに敷設する必要はなくなる。

Pirandola *et al.* [2017] によれば、CV 方式は、理論と実装技術を発展させていくことができれば、通信速度の面でも DV 方式よりも高性能となりうると考えられている。ただし、CV 方式では、安全性証明の付与が容易ではなく、現実的に実装可能な離散変調の CV 方式に初めて安全性証明が与えられたのは Matsuura *et al.* [2021] である。執筆時点（2024 年 2 月）において安全性証明が付与された CV-QKD プロトコルをみると、いずれも DV 方式と比較して通信性能が劣っている。このため、今後の CV 方式の性能向上は、プロトコル、通信装置の実装、安全性証明の理論に関する研究の進展にかかっているといえる。

ハ. 装置の信頼性による分類

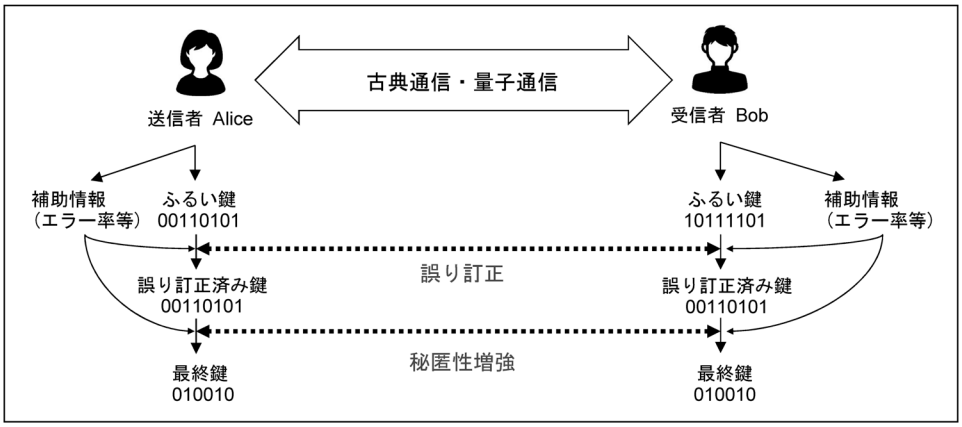
通信装置の性質に関する想定に応じた分類もある。この前提の違いを映じて、QKD の安全性証明と通信プロトコルが異なるものとなる。

- デバイス・ディペンデント（Device-Dependent）方式：通信装置が想定する装置モデル通りに動作すると仮定して、安全性を保証する方式。上述の QKD プロトコルは、すべてこの方式に該当する。
- デバイス・インディペンデント（Device-Independent）方式：通信装置について、送受信者に宛てた出力を盗聴者には出力しない、真正乱数を使用できる、内部に記憶装置を持たない（Barrett, Colbeck, and Kent [2013]）ことのみを仮定して、安全性を保証する方式。具体例として、E91 方式がある。

Device-Independent 方式は、通信装置に特定の装置モデルを仮定せずに、安全性を証明する方式である。安全性証明に利用できる前提が少ないため、QKD プロトコルの開発とそれへの安全性証明の付与は困難である。また、特定の装置モデルを仮定しないことから、Device-Independent 方式では、通信装置の性質を検証する際の検査項目数は、Device-Dependent 方式に比べて少ない。

なお、Device-Independent 方式と Device-Dependent 方式の差異をみるうえで、以下の 2 点に留意する必要がある。第 1 に、Device-Independent 方式では、装置モデルを仮定しないことから、通信装置の検証が不要であると誤解されることがあるが、実際には、理論に関する基本的な仮定を通信装置が満たすことを検証する必要がある。そこでの仮定は、特定の装置モデルに関するものではなく、ベル実験が要請するような量子力学的にみて普遍的かつ基礎的なものである。第 2 に、装置モデルで仮定される「送受信者に宛てた出力を盗聴者には出力しない」という性質の確認については、実装攻撃への対策を考慮する際には両方式の間で大差はない。以上から、両方式の本質的な差異については議論の余地があるといえる。

図 2　QKD プロトコルの概略図



もっとも、性能面についていえば、量子状態を記憶する量子メモリといった高度な素子を使わない場合には、Device-Independent 方式は Device-Dependent 方式と比べて性能が極端に低くなるというデメリットがある。また、量子状態の長期間の保持は技術的に困難であるため、Device-Independent 方式の実用化には 20 年以上の歳月を要するとの見方もある。このため、以下では特段の断りがない限り Device-Dependent 方式を前提とする。

(4)　プロトコルの基本構造

代表的な QKD プロトコルは、BB84 方式（Bennett and Brassard [1984]）である。Charles Bennett と Gilles Brassard が 1984 年に発表した本方式は、提案者の頭文字と提案年にちなんで BB84 と呼ばれている。現在、さまざまな国で実証実験が行われている QKD の多くは、BB84 方式を採用している。このプロトコルの詳細については、既に優れた解説が世に出ているため、例えば小芦・小柴［2008］や後藤［2009］、Nielsen and Chuang [2010] などを参照されたい。

本節（4）では、抽象化した QKD プロトコルの概略を述べる（図 2 参照）。BB84 方式を始めとするほとんどの QKD プロトコルは、大まかには以下の 3 つのステップにより実行される。すなわち、第 1 ステップで不完全な乱数列（ふるい鍵、sifted key）を共有したあと、第 2 ステップと第 3 ステップにおいて、このふるい鍵から安全な部分を抜き出し、最終的な暗号鍵を得る。それぞれのステップを詳述すると以下のとおりである。

第 1 ステップでは、まず、量子通信路と古典通信路を使って乱数列を共有したり量子通信路の状況を監視したりする。例えば、PM 方式では、送信者が量子通信路

を通じて量子ビット列を送信し、受信者が量子ビットを測定する。この際、送信する状態の種類や測定の方法（観測の基底、脚注7参照）を確率的に切り替えることで、乱数列の共有や量子通信路の監視を行っている。これらの切替えの選択は、量子通信路の使用が終わったあと、古典通信路を用いて送受信者で共有される。このステップで共有された乱数列は、ノイズなど[15]の影響から送受信者で完全には一致しておらず、部分的に盗聴されている可能性もある。この乱数列をふるい鍵と呼ぶ。

第2ステップは、誤り訂正（error correction）である。ふるい鍵の一部の情報（誤り訂正符号におけるシンドローム）を古典通信路[16]で通信することにより、送受信者間で一致していない部分を明らかにし、片方の鍵を修正する。この手続きは、ノイズのある古典通信における誤り訂正と同様の手続きである。この不一致の割合をエラー率と呼ぶ。最終的に得られる暗号鍵は、エラー率が低いほど長くなる。

第3ステップは、秘匿性増強（privacy amplification）である。公開通信路で鍵とは独立な乱数列を共有し、所定のアルゴリズムに従って鍵を短くすることで、部分的に情報が漏洩している可能性のある鍵を全く情報が漏れていない安全な鍵に補正する。漏洩が疑われる情報が多いほど、鍵をより短く補正する必要がある。これらの結果として、非常に高い確率で安全で一致した鍵が共有できる。

4. QKDの理論的安全性

(1) QKDの安全性基準と安全性証明の前提条件

QKDの安全性証明の構成要素は、証明すべき安全性に関する基準、通信装置の性質を数学的に表現した装置モデルなどの前提条件、およびQKDプロトコルである。

イ. 安全性に関する基準

証明の目標である安全性に関する基準は、暗号学の概念である情報理論的安全性である。すなわち、現実のプロトコル P_{real} により共有された鍵が、理想的なプロトコル P_{ideal}（通信路でのノイズや盗聴がなく、完全な秘匿性を達成するもの）により共有された鍵との識別が困難であることをもって、そのプロトコルは安全であると

15 例えば、通信路のノイズ、盗聴者による盗聴、測定結果の量子力学的なゆらぎなど。

16 プロトコルによっては、事前共有鍵を使用して暗号化し、この情報を送る必要がある。その場合に最終的に生成される鍵からこのステップで使用した鍵を差し引いた正味の鍵生成量がプロトコルの鍵生成量とされる。

する[17]。この識別不可能性は、ϵ-識別不可能性（ϵ-indistinguishablility）と呼ばれ、次のように定義される。

ある正の定数 ϵ に対して、現実のプロトコル P_{real} と理想的なプロトコル P_{ideal} が ϵ-識別不可能であるとは、任意の識別者（distinguisher）に対して

$$\Pr[B = 1|P_{\mathrm{real}}] - \Pr[B = 1|P_{\mathrm{ideal}}] \leq \epsilon,$$

が成り立つことである。ここでいう識別者とは、現実のプロトコルと理想的なプロトコルを見分けようとする仮想的な主体であり、判定結果に応じて推定値 B を出力するものである。識別者は、理想的なプロトコルであると判定したときには $B = 1$ と回答し、現実のプロトコルと判定した場合には $B = 0$ と回答する。プロトコル P のもとで推定値 B を得る確率は $\Pr[B|P]$ と表現される。この ϵ-識別不可能性が任意の識別者に対して成立することが、任意の盗聴に対する安全性、すなわち情報理論的安全性を保証する理由となっている。

また、共有された鍵がこうした性質を満たすプロトコルは、ϵ-安全（ϵ-secure）であるという。QKD のユーザが任意の値に設定できる正の定数 ϵ は、直感的には、理想的なプロトコルによる通信とは異なる結果を得る確率の最大値と捉えることができる。

ロ. 安全性証明の前提条件

QKD の情報理論的安全性（または、無条件[18] 安全性）という数学的性質の証明は、以下に掲げるさまざまな前提条件（仮定）に基づいて証明される。これらの仮定は、送受信者と盗聴者の能力、装置のモデル化、QKD プロトコルに関するものである。

（a）攻撃者は、量子通信路において、遮断や盗聴などのあらゆる攻撃ができる
（b）攻撃者は、古典通信路において、盗聴はできるが、なりすましと改ざんはできない
（c）送信者と受信者は、それぞれ乱数を生成できる
（d）通信装置は、装置モデルのとおりに動作する
（e）盗聴者は、通信装置の内部に直接的にはアクセスできない

仮定（a）では、盗聴者がすべての量子ビットを観測して通信を妨害する DoS（ドス、Denial of Service）攻撃や回線の切断といった極端な攻撃をも想定する。このような場合、得られる鍵長は 0 になる。このように、QKD では安全性は常に保証されるが、鍵が常に生成できることは保証されない。

17 この安全性基準は、理想的な状況と実際の状況とのトレース距離の近さを保証する。
18 この無条件とは、量子通信路に対する条件をつけていないという限定的な意味である。

仮定（b）は、相手認証とメッセージの認証が安全に行えることを意味する。古典通信においては認証技術が確立されているものの、利用する認証技術の安全性がQKDプロトコル全体の安全性評価に含まれる点には注意が必要である（5節（2）を参照）。

仮定（c）では、送信者と受信者が安全な物理乱数生成器をもっているという状況を想定している。安全であれば、量子乱数と（古典の）疑似乱数のいずれでもよいが、それぞれでリスク特性は異なる。例えば、疑似乱数の場合には、乱数生成器へのバックドア攻撃のリスクがあるほか、原理的に乱数を推定されるリスクが残る。他方、量子乱数の生成器はバックドア攻撃のリスクは低いと考えられるが、別のアプローチに基づく攻撃のリスクはある[19]。

仮定（d）の装置モデルは、通信装置を数学的対象として抽象化したものであり、量子力学の枠組みで記述される。

仮定（e）では、通信装置の内部に格納された古典ビットの乱数列を直接的には窃取できないと仮定している。この仮定では、攻撃者による遠隔からの窃取の可能性を排除はしていないが、実装攻撃の考慮の仕方は後述の装置モデルの仮定に依存している。こうした仮定のもとで、QKDプロトコルの安全性が証明される。

ハ．安全性証明の前提条件と実装攻撃の脅威の関係

QKDの安全性は、通信装置が装置モデルのとおりに動作するとの前提に基づいて証明される。しかし、現実の通信装置と装置モデルの性質に乖離がある場合には、攻撃者が現実の通信装置に何らかの干渉を行い、通信内容の盗聴や改ざん等を行いうるとのリスクがある。このリスクは、QKDに対して、実装攻撃による重大な脅威をもたらす。

実装攻撃とは、暗号プロトコルのデザインの欠陥や暗号学的な脆弱性を突く方法以外の方法で暗号解読を試みる、あらゆる攻撃の総称である[20]。QKDでは、装置モデルの仮定を破るような攻撃は、実装攻撃とみなせる。実装攻撃に対しては、数学的証明による安全性の保証は無効である。

QKDにおいて、実装攻撃に悪用されうるリスクの例を挙げる。例えば、受信側

19 例えば、乱数生成器から出力された乱数を、何らかの方法で複製する攻撃のリスクは考慮する必要がある。

20 実装攻撃の詳細については、例えば、鈴木・菅原・鈴木［2015］を参照されたい。古典暗号では、実装攻撃は、装置内部に直接的にアクセスする侵襲攻撃（invasive attack）と、そうしたアクセスを行わない非侵襲攻撃（non-invasive attack）に分類される。さらに、非侵襲攻撃は、装置の通常の動作を受動的に観測するサイド・チャネル攻撃（side-channel attack）と、能動的に装置にエラーを引き起こし、異常動作を観測する故障利用攻撃（fault-injection attack）に分けられる。サイド・チャネル攻撃の例として、暗号化または復号にかかる情報処理中に、演算装置から漏れる電磁波や演算装置の消費電力を観測することで平文に関する情報を得るなどの攻撃方法が考案されている。QKDの場合には、上記のような古典暗号における実装攻撃の分類が確立しているとは言い難い。また、実装攻撃をサイド・チャネル攻撃と呼んでいるとみられるケースもあるため、用語の用法には注意されたい。

の素子に非常に強い光をあてると光子検出器が故障し、一定の光強度以下の光には反応しなくなる。この現象を悪用することで、攻撃者が意図した観測の基底のみで受信装置の信号の受信が起こるようにし、盗聴しているにもかかわらず、その影響がエラーとして検知されないようにできる攻撃がある。この攻撃だけを考慮するのであれば、3 節（3）イ．で述べた MDI 方式を使うことや、受信装置に入射する光の強度を調べることで、攻撃の検出は可能である。

これに対して、未知の実装攻撃に予め対処することは一般に困難である。このため、実装攻撃への対処は、既知の攻撃手段への対策を講じることが中心となる。QKD についても、40 年近い歴史の中の最近の 20 年間で、現実の通信装置に即した装置モデルや実装攻撃への対策に関する知見が蓄積されつつある。

対策についていえば、理論面では、実装攻撃のリスクの源泉となる装置の不完全性を仮定に含めてプロトコル（特に秘匿性増強の量）を再設計し、安全性証明を与えることにより、リスクを無効化する研究が進展してきた。

通信装置については、通信装置が装置モデルに従って動作しているか否かについて、理論とは別に、実機を使った検証を行うべきであり、今後、装置に関する標準の策定や、検証と認証の制度的枠組みの整備が必要となる。この点については、5 節（3）を参照されたい。

なお、QKD においても、末端の通信装置で情報を古典ビットに変換したあとは、通常の古典暗号化通信と同様の実装攻撃への対策が求められる。

（2） QKD の安全性証明の進展

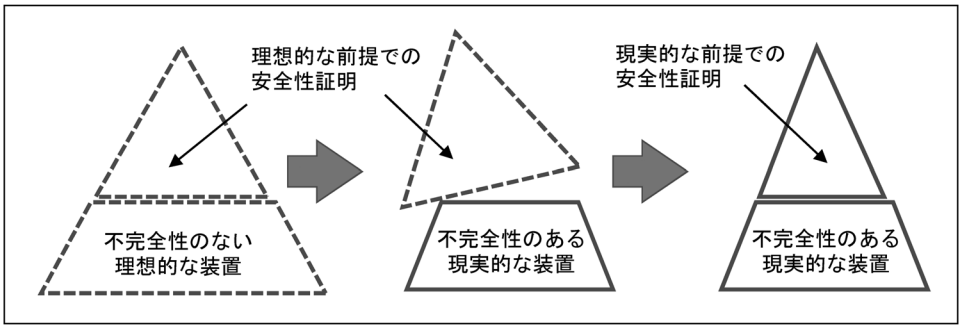
本節（2）では、QKD の安全性基準と装置不完全性に関する研究の変遷を概観する。

QKD の安全性証明の理論は、BB84 方式の提案以来、現在に至るまで進展が続いている。通常、QKD の安全性証明では、まず証明に都合のよい理想的な前提条件から出発して安全性を証明することを目指す。そうした過程で、QKD プロトコルの安全性基準に関する研究が発展した。

しかし、大抵の場合において、実際に利用可能な装置に対して要求できる前提条件と、安全性証明で用いた前提条件にはギャップがあるという課題があった。そこで、実装攻撃を想定し、装置不完全性を取り込んだ前提条件から QKD の性能を保ちつつ安全性を示せるように証明を改良する研究が進展した（図 3）。

前者の安全性基準に関する研究について次のイ．、後者の装置不完全性を取り込む研究についてロ．で解説する。

図３　装置不完全性と安全性証明



イ．安全性基準に関する研究の進展

最初に提案された QKD プロトコルは、BB84 方式である。この方式では、送信者は理想的な単一光子を生成し、その偏光状態を 4 種類（0 度、45 度、90 度、135 度）のうち 1 つに設定し、受信者に送る。受信者は光子検出器を用いて、単一光子の偏光状態を測定する。原論文（Bennett and Brassard [1984]）は、ノイズのない通信路などの極端に理想的な状況を仮定したもとで、プロトコルは情報理論的に安全であると主張した。しかし、こうした主張に対して、実際の通信路にはノイズが存在するので、安全性証明は不完全であると批判された。

こうした批判を受けて、Mayers [1996] は、ノイズのある通信路や不完全な観測装置を前提として、BB84 方式の安全性証明を拡張した。この研究により、QKD は情報理論的安全性を達成できるとの認識が研究者の間で広がったが、この証明で採用された安全性基準は、本質的には相互情報量（mutual information）[21] という尺度に基づくものであった。

その後、相互情報量を用いた安全性基準では基準として不十分であることが Müller-Quade and Renner [2009] によって指摘された。この指摘を受けて、情報理論的な安全性基準として ϵ-安全（ϵ-security、定義は本節（1）イ．を参照）を採用するべきであるとの認識が研究者の間で広がった。今日では、ϵ-安全が安全性基準の標準となっている[22]。

ロ．装置不完全性を取り込む研究の進展

ϵ-安全が保証されていても、その保証の前提条件によって安全性の意味は大きく

21 相互情報量とは、2 つの確率変数の依存度の高さを表す指標であり、一方の確率変数から得られる他方の確率変数の情報量と解釈することができる。QKD プロトコルを実行する量子情報処理系の情報（何らかの確率変数の値）から得られる秘密鍵の情報が少なければ、プロトコルが直感的には安全であると考えることもできる。こうした直感に基づいて、相互情報量に基づく安全性基準が作られたが、直感に反して安全であるとは限らないことが反証によって示された。

22 ϵ-安全に基づく安全性証明のアプローチについては、補論を参照されたい。

変わる。特に、装置モデルについては、装置モデルが要求する性質を持つ装置の調達困難性や、装置に生じる損失やノイズの程度、性能指標の正確性やその保証方法の考慮の有無など、注意を払うべき点が多い。

それらのうち、まず BB84 方式における光源の問題を取り上げる。BB84 方式では、もともと単一光子を生成する光源が使えることを仮定して安全性が証明されていた。しかし、理想的な単一光子光源の実現は容易ではない。このため、実際の実験では、平均光強度を 1 光子レベルにまで低く抑えたレーザー光源が利用されている。もっとも、レーザー光源は、一定の確率で 2 光子以上を放出することから、そもそも安全性証明の前提が崩れているという問題がある。しかも、こうした前提の崩れを悪用した攻撃も想定できる。例えば、同一の量子状態を持つ光子が 2 個以上放出された場合において、盗聴者は、生成された光子のうち 1 つを盗聴用に確保し、受信者に残りの光子を送るとする。この場合、受信者に送られた光子に盗聴者は触れていないため、一切の痕跡を残さずに盗聴ができてしまう。このため、いかに解析を工夫しても BB84 方式では、2 光子以上を生成した場合の信号からは、安全な鍵は得られない。

さらに、上記の議論では、レーザー光が 1 光子または 2 光子以上の状態が確率的に出現する状況を想定していたが、実際のレーザー光はそれらの重ね合わせ状態である。その性質を用いて効率的な盗聴を行う実装攻撃のリスクが考えられる。こうしたリスクへの対策として、レーザー発振の不安定性や位相変調器を利用して、レーザー光の位相をランダム化する処理が考案された。この処理を行ったレーザー光は、各光子数に対応する状態を確率的にとるもの（古典状態の確率混合）と同等となることから、もはや重ね合わせ状態の性質を利用した攻撃ができなくなることや、このケースでの安全性証明の方法論が Gottesman *et al.* [2004] によって示された。ただし、この手法では、理想的な単一光子光源を使用する場合と比較して、長距離通信での性能が大きく低下するという問題があった。

そこで、そうした通信性能の低下を改善する手法として、デコイ法（Hwang [2003]、Lo, Ma, and Chen [2005]、Wang [2005]）が考案された。この方法は、送信者がレーザー光源の強さを確率的に切り替えて、それに伴う受信側での検出率の変化を調べるものである。仮に、攻撃者が 2 光子以上の場合を選択的に攻撃すると、受信側は検出率の比を手掛かりに攻撃の有無を判定できる。また、デコイ法を用いることで、長距離通信での性能（1 光パルス当たりの平均鍵生成数）は、理想的な単一光子光源を用いる場合と遜色ないレベルに改善できるほか、レーザー光源は光パルスの繰返し速度が速いため、単一光子光源を使う場合よりも高い性能（時間当たりの平均鍵生成数）を得られることがわかった。

デコイ法は、図 3 のような QKD における装置不完全性を考慮したプロトコルの

改良と安全性証明の拡張の典型例である。これ以外の装置不完全性[23]については、例えば、Sajeed *et al.* [2021] がサーベイ結果を提供している。これらの装置不完全性を悪用した既知の実装攻撃に関しては、既に基本的な対策が考案されている。また、未知の実装攻撃と安全性が未解明の装置不完全性についても、採用した装置モデルと理想的な装置モデルとの差異が（fidelity に近い指標で）が十分に小さい場合に対処する方法（Pereira *et al.* [2020]）が考案されている。

装置不完全性については、装置のノイズ量を確かめることを含めて安全性を保証する枠組みになっている場合が多い。このため、いかに装置の性質を簡単に試験したうえで QKD プロトコルとしての性能を確保するか、というのが重要な課題になっている。

5. 考察

本節では、QKD の普及に向けた課題を考察する。本節（1）では、各国の情報セキュリティ関連機関等が公表した QKD に対するポジション・ペーパーを概観する。本節（2）では、QKD における相手認証について考察する。本節（3）で QKD の標準化動向を整理したうえで、本節（4）で普及に向けた課題を考察する。

(1) QKD に対する海外の評価

各国の情報セキュリティ関連機関等（当局）では、QKD の評価を含む文書を公開しており、その多くにおいて、QKD の実用性やコスト面について否定的な評価をしている。ただし、こうした QKD に対する評価は、インターネットで用いられる汎用の暗号化通信において利用する場面を想定して行われた PQC との相対比較である点には注意が必要である。

こうした文書をみる限り、現時点において QKD は、性能とコストの両面から、各国において PQC の代替となることは展望されていない。QKD を導入した場合に得られる最大の恩恵は情報理論的安全性であり、そうした安全性は、超長期での秘匿性を要するケースのほか、PQC が秘密裡に破られているリスクやハーベスト攻撃の脅威に備えるのに適している。したがって、QKD の重要性は、その用途に依存する。2 節（4）で述べたとおり、QKD は、用途を限定した、特段に高い機密

23 例えば、送信側が所望の状態の量子ビットを誤りなく準備できるとの仮定が満たされない不確実性が考慮されている。

度が求められる情報の通信に適していることから、その適切な比較対象は Trusted Courier であろう。いずれにせよ、他の方式と比較する際には、暗号の専門家による評価も踏まえつつ、QKD の用途や PQC との使い分けについての建設的な議論が必要である。

以下では、各国当局の QKD に対する評価の概要を紹介する。

米国 NSA（National Security Agency [2021]）は、以下に掲げる QKD の技術的制約が解消されない限り、国家安全保障システム（National Security Systems）における QKD の利用を推奨しないとしている。

① QKD は、デジタル署名に相当する認証手段を提供しない
② QKD は、専用の通信装置を必要とする
③ 中継器を信頼しなければならず、インフラ・コストが増す
④ QKD が保証する実際の安全性は、通信装置の実装に依拠する

NSA や後述する各国の議論においても制約とされているこれらの点について、筆者らは次のように考える[24]。①については、QKD の有用性を大きく損なうものではない。詳しくは本節（2）を参照されたい。②と③については、主として導入コストの問題であるが、超長期的な秘匿性が必要となるケースでは、そうしたコストを払ったうえでも QKD は有望な選択肢となろう。また、既存回線と QKD の回線を共存させることで、コストを抑制する方式が研究されていることもサポート材料である。④については、PQC を含む古典暗号でも同様の制約がある。ただし、QKD の場合、装置の安全性を認証する制度的枠組みの整備が課題ではある。詳しくは、本節（3）を参照されたい。

英国の国家サイバー・セキュリティ・センター（National Cyber Security Centre: NCSC）も、2020 年 11 月に公表した暗号移行に関するホワイト・ペーパー（National Cyber Security Centre [2020b]）において、上記①、②を理由に挙げて、あらゆる政府機関や軍における QKD の利用を推奨しないとしている。また、理由の仔細について、同年 3 月に公表された QKD と量子乱数生成に関するホワイト・ペーパー（National Cyber Security Centre [2020a]）でも詳述されている。

オランダ通信安全委員会（Netherlands National Communications Security Agency [2022]）も、①を理由に QKD は中間者攻撃（man in the middle attack）に対して脆弱であるとしている。中間者攻撃とは、送信者と受信者がお互いに正しい相手と通信していると信じている状況において、攻撃者が両者の通信を仲介して通信内容の盗

24 このほか、Renner and Wolf [2023] が、NSA の評価に対して検討を加え、反論している。同稿では、NSA の掲げた QKD の問題の多くが、中期的および長期的な将来において解消されると結論している。ここでの中期的な将来とは、安価な光学装置や量子中継器が利用できる時代を指す。長期的な将来は、量子コンピュータが量子ネットワークで結ばれている時代を指す。

聴および改変を行うことにより情報を窃取する攻撃である。なお、こうした脆弱性を解消するためにPQCを認証に利用すると、QKDが有する相対的な優位性が失われるとしている。また、QKDを組み込んだアプリケーション全体が考慮されていないことから、安全性証明は不完全であるし、通信装置について置かれた多くの仮定は現実的ではないとしている。さらに、通信距離も短く、trusted pointsが多く、スケーラビリティに乏しいとしている。以上から、QKDはPQCの本格的な代替にはならないと結論付けている。

フランスの国家情報システム・セキュリティ庁（Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information: ANSSI）のポジション・ペーパー（ANSSI [2023]）では、QKDは大規模な展開が困難であり、汎用の量子コンピュータによるリスクは既にPQCにおいて考慮されているとしている。また、QKDは高いセキュリティが求められる拠点間通信などのニッチな応用はありうるとしながらも、現代の通信システムに求められるさまざまな機能的要件（スケール性、通信速度、End-to-End ＜端から端まで＞の暗号化など）を充足しないことから、長期的なデータ保護の目的にもPQCの方が望ましいとしている。

フランス、ドイツ、オランダ、スウェーデンの情報セキュリティ当局が合同でポジション・ペーパー（ANSSI *et al.* [2024]）を公表している。米国NSAが掲げるQKDの制約を挙げたほか、QKDは通信速度の制約からデータ本体の暗号化には利用できないとしている。すなわち、データ本体はワンタイム・パッドではなく、共通鍵暗号で暗号化する必要があるため、情報理論的安全性はデータ本体には保証されないと主張している。また、理論的に保証される安全性は、実装された現実の通信装置には適用できないとしている。以上から、QKDは発展途上の技術であり、現時点ではニッチな用途に限られると結論付けている。

ただし、筆者らの見解ではあるが、QKDは鍵共有プロトコルを常時実行することで、鍵を平時より蓄積することができるため、ワンタイム・パッドと組み合わせることは十分に可能であると考える。また、4節で述べたように、安全性証明も装置不完全性を考慮しているため、理論と現実のギャップは縮まっているといえる。

(2) 認証手段について

本節（1）の米国NSAの例で述べたように、QKDは認証手段を提供しないとの批判がある。相手認証を行わない場合には、QKDは中間者攻撃に脆弱となる。もっとも、QKDでは、量子通信路に加えて古典通信路も利用するため、これを使って任意の相手認証手段を組み合わせることが可能である。理想的には鍵共有を行う前に通信相手の正しさを証明する相手認証を行うことが望ましい。そこで、本節（2）

では、QKD に組み合わせる相手認証手段の選択が、相手認証も含めた QKD プロトコル全体の前提と安全性評価に与える影響について述べる。とくに、後段で述べるように、相手認証が計算量的安全性に基づくものであっても、QKD の有用性が大きく損なわれるとは限らないことを説明する。

多くの QKD のプロトコルでは、QKD の最大のメリットである情報理論的安全性を認証手段も含めて達成するために、情報理論的安全性を有する Wegman-Carter 認証（Wegman and Carter [1981]）を組み合わせることが想定されている。しかし、同認証方式は、送受信者が少量（高々古典通信量の対数程度）の安全な乱数を事前に共有していることを仮定する。Wegman-Carter 認証を利用する限りにおいて、QKD は、鍵配送（key distribution）よりも、鍵伸長（key growing）と呼ぶべきである。すなわち、QKD は、Wegman-Carter 認証のために事前に共有した安全な乱数を増幅する役割を担っているとみなせる。

相手認証に、情報理論的安全性を求めない場合には、計算量的安全性に基づく認証手段を選択することも可能である。楕円曲線暗号によるデジタル署名では、量子コンピュータに対する安全性が確保できないため、攻撃者によるなりすましのリスクがある。

PQC ベースのデジタル署名では、量子コンピュータによる安全性が確保できる。この場合には、2 節（4）で述べたとおり、QKD の PQC に対する相対的な優位性が乏しくなるとの批判がある。もっとも、相手認証において情報理論的安全性を達成する重要性は、データの秘匿性に比較して小さい。相手認証では、メッセージの送受信が開始されてから完了するまでの限られた間だけ通信相手の真正性が保証されれば十分である。仮に、認証が計算量的安全性に基づくものであり、将来的に破れたとしても、通信が完了していた場合には、通信相手のなりすましは意味がなく、悪影響はない。したがって、実用的には、計算量的安全性に基づく認証方式が短時間で破られなければ、データ本体の秘匿性を確保する QKD の有用性は大きく損なわれないと考えられる。

（3） QKD の標準化動向

QKD については、通信装置の安全性に認証を与える制度的枠組みの整備が課題となっており、現在、国際標準化が進められている。こうした制度的枠組みは、暗号製品の安全性を国際規格に基づいて証明し、お墨付きを与えることから、製品の普及を後押しすることが期待される。以下では、まず、古典的な暗号製品に関する制度を概観する。

古典的な暗号製品については、第三者が評価・認証する制度的枠組みが整備さ

れており、そのもとで運用されている。わが国では、「IT セキュリティ評価および認証制度（JISEC: Japan Information Technology Security Evaluation and Certification Scheme）」[25] のもとで、国際標準化機構（ISO/IEC 15408）が定めたコモン・クライテリア（Common Criteria: CC）に基づいて製品・システムのセキュリティ機能が定義され、その機能が適切に実装されているか否かが評価・認証されている。また、「暗号モジュール試験および認証制度（JCMVP: Japan Cryptographic Module Validation Program）」[26] は、米国連邦政府標準規格 FIPS 140-3（またはこれをベースとした ISO/IEC 19790）などに基づく暗号モジュールの試験・認証制度である。電子政府推奨暗号リスト[27] に記載されている暗号アルゴリズム等を実装した暗号モジュールは、JIS X 19790（日本における ISO/IEC 19790 の対応規格）に基づいて第三者機関により試験・認証されている。これらの制度の歴史的背景については、田村・宇根［2008］が詳細に解説している。

QKD についても、その普及に向けて、暗号プロトコルの標準化や暗号モジュールを組み込んだ製品の評価・認証の制度的枠組みが重要になると考えられる。すなわち、QKD 製品の導入に当たり、国際標準に基づくセキュリティ評価基準を満たすことを第三者機関により認証されており、公的機関から推奨された実装方式となっていることは、重要な判断基準となる。

この点、欧州をはじめとする各国において、近年、QKD に関するセキュリティ評価基準の策定が進められている。欧州では、欧州電気通信標準化機構（European Telecommunication Standards Institute）が、コモン・クライテリア（Common Criteria）ベースの評価のためのセキュリティ要件を定めたプロテクション・プロファイル（Protection Profile、ETSI GS QKD 016）を 2023 年 4 月に公表しており、日本の情報通信研究機構（NICT）も策定に協力した[28]。

このほか、セキュリティ評価基準の国際標準化に向けた議論も大きく進展している。具体的には、電気通信に関する国際標準である ITU-T 勧告（ITU-T Recommendation）[29] の Y.3800 番台には、既に発効している QKD の標準が数多く存在し、執筆時点（2024 年 2 月）では、Y.3800～Y.3819 の 20 個の標準が策定されて

25 JISEC の概要については、以下の情報処理推進機構のウェブ・ページを参照されたい。https://www.ipa.go.jp/security/jisec/about/index.html

26 JCMVP の概要については、以下の情報処理推進機構のウェブ・ページを参照されたい。https://www.ipa.go.jp/security/jcmvp/index.html

27 CRYPTREC（Cryptography Research and Evaluation Committees）が定めた、電子政府における調達のために推奨すべき暗号のリスト。CRYPTREC 暗号リストとも呼ばれる。

28 詳しくは、NICT のページ（https://www2.nict.go.jp/qictcc/social/standard.html、2024 年 2 月 14 日）を参照されたい。

29 ITU（International Telecommunication Union、国際電気通信連合）は 電気通信に関する国際標準の策定を目的とした国際連合の専門機関である。また、ITU-T（ITU Telecommunication Standardization Sector、ITU 電気通信標準化部門）は、ITU を構成する 3 つの部門の 1 つである。ITU-T が策定する国際標準は、ITU-T 勧告として公表される。

いる。ITU-T 勧告は、WTO/TBT 協定[30] に基づく強制力を持つデジュール標準[31] の 1 つである。また、WTO 協定に含まれる「政府調達に関する協定」では、政府の調達における技術仕様について、適当な場合には国際規格に基づいて定めることが規定されているため、ITU-T 勧告は政府調達にも影響力を持つ。

情報セキュリティ分野の標準を策定する ISO/IEC JTC 1/SC 27 においても、QKD の安全性に関する標準が検討されている。現在、審議中の標準 ISO/IEC CD 23837-1/2 は、QKD のセキュリティ要件や、テストと評価方法の標準を定めるものである。欧州電気通信標準化機構においても、傘下の ISG（Industry Specification Group）において、QKD の標準化が進められている。これらの標準には、日本人研究者らの知見も多く取り入れられている。標準を策定したあとの制度運用に向けては、日本国内において認証機関や試験実施機関を養成することも重要である。

(4) 普及に向けた課題

QKD の普及に当たって、以下の 4 つの課題が指摘できる。

1 つ目の課題は、プロトコルと通信装置、安全性証明に関する理論の成熟による通信性能の向上である。これらは、それぞれ独立した要素ではなく、プロトロルと装置を改良すれば、これに対応する安全性証明が必要とされる、という関係にある。

2 つ目の課題は、装置の安全性を評価・認証する制度的枠組みの整備である。さまざまな事業者が製造した QKD の通信を同一のネットワーク上で成立させるためには、プロトコルの仕様の標準化が不可欠である。また、実装攻撃を予防するための実装ノウハウの蓄積と検証も求められる。なお、わが国においては、政府調達にかかる暗号の推奨リスト（電子政府推奨暗号リスト）への掲載を検討する価値もあると考えられる。

3 つ目の課題は、量子中継（quantum relay）の実現である。古典中継による QKD では、中継装置を信頼する前提を置く必要があり、これが QKD の価値を大きく減じているといえる。執筆時点（2024 年 2 月）において、量子中継の成功例はないが、QKD が他の暗号化通信への相対的な優位性を確保するうえで、量子中継技術の実現は重要な分水嶺となる。量子中継の提案方式や課題については、Azuma *et al.* [2023] を参照されたい。

30 WTO（World Trade Organization）協定に包含される TBT 協定は、工業品等の各国の規格とその適合性評価手続きが国際貿易に不必要な障害（Technical Barriers to Trade）をもたらすことがないよう、国際規格を基礎として規格を制定する原則等を定めるもの。

31 デジュール標準は、標準化機関によって公的に明文化され、公開された手続きによって作成された公的標準を指す。これに対して、フォーラム標準は、特定分野の標準化に関心がある企業・専門家らの合意により制定される標準を指す。デファクト標準とは、個別企業などの標準が市場の取捨選択・淘汰によって市場で支配的となったものである。

4つ目の課題は、導入と運用コストの低減である。QKDは、専用の通信装置を要することから導入コストが高い。このため、各企業が独自にQKDの専用ネットワークを構築することは現実的ではなく、公的な取組みによる通信基盤の整備・支援が必要となろう。この点、わが国において、国立情報通信研究機構（NICT）がQKDネットワークの実証を行っているのは、望ましい方向といえよう。また、既存ネットワークとQKDを併存する技術の開発が進めば、運用コストも低減する可能性がある。

6. おわりに

主要国・地域において実証実験が進展しているとはいえ、QKDは未だ発展途上の技術であり、その社会的有用性は、不確実性の高い将来の技術革新に大きく依存する。現時点では、QKDは、インターネットで用いられる汎用の暗号化通信を代替する技術ではなく、限られた拠点間で機密度の高い情報を通信する用途に適していると評価できる。

ただし、情報理論的安全性を達成するQKDの強みは、耐量子計算機暗号でも保証できない強力な性質である。保存期間が極めて長い機密情報を送信する場合には、QKDは有用な選択肢となりうる。また、将来における、暗号解読に利用できる量子コンピュータの登場や、耐量子計算機暗号に対する暗号解読アルゴリズムの進歩は予期しえない。こうしたテール・リスクに対処できる点においても、QKDには社会的意義があると考えられる。

さらに、本稿の範囲を逸脱するが、遠い将来には、QKDネットワークと既存の暗号技術（秘密分散）を組み合わせて情報理論的に安全な情報の分散保管・受渡しを可能とする量子セキュア・クラウドや、量子情報処理装置のネットワークを世界規模で展開する量子インターネットなど、新しいサービスが創出される可能性もある。QKDの研究開発は、その社会的な意義と潜在的な有用性をかんがみながら進められていくものと思われる。

目下、高いセキュリティを確保することが求められる金融機関においては、QKDの技術的な到達点および、QKDが提供するセキュリティ・サービスとその安全性を正確に理解することが重要である。

参考文献

宇根正志、「量子コンピュータが暗号に及ぼす影響にどう対処するか：海外における取組み」、金融研究所ディスカッション・ペーパー No. 2023-J-13、日本銀行金融研究所、2023 年 a

———、「量子コンピュータに耐性をもつ暗号への移行：金融分野における検討動向」、量子 ICT フォーラム・セミナー講演資料（2023 年 12 月 20 日）、量子 ICT フォーラム、2023 年 b（https://qforum.org/news/38087、2024 年 3 月 26 日）

菅野　哲、「耐量子計算機暗号（PQC）への暗号移行に向けた技術動向」、情報セキュリティ・セミナー講演資料、日本銀行金融研究所、2023 年（https://www.imes.boj.or.jp/jp/conference/citecs/23sec_semi01_docs/23sec_semi01_s2.pdf、2023 年 10 月 17 日）

小芦雅斗・小柴健史、『量子暗号理論の展開』、サイエンス社、2008 年

後藤　仁、「量子暗号通信の仕組みと開発動向」、『金融研究』第 28 巻第 3 号、日本銀行金融研究所、2009 年、107～150 頁

鈴木雅貴・菅原　健・鈴木大輔、「サイドチャネル攻撃に対する安全性評価の研究動向と EMV カード固有の留意点」、『金融研究』第 34 巻第 4 号、日本銀行金融研究所、2015 年、107～134 頁

田村裕子・宇根正志、「情報セキュリティ製品・システムの第三者評価・認証制度について：金融分野において利用していくために」、『金融研究』第 27 巻別冊第 1 号、日本銀行金融研究所、2008 年、79～114 頁

藤原幹生、「量子暗号技術 拡充された東京 QKD ネットワーク」、量子 ICT フォーラム・セミナー講演資料（2023 年 12 月 20 日）、量子 ICT フォーラム、2023 年（https://qforum.org/news/38087、2024 年 3 月 26 日）

Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI), "Should Quantum Key Distribution Be Used for Secure Communications?" Technical Position Paper, ANSSI, 2023 (available at https://cyber.gouv.fr/en/publications/should-quantum-key-distribution-be-used-secure-communications、2024 年 3 月 26 日).

———, Federal Office for Information Security (BSI), Netherlands National Communications Security Agency (NLNCSA), Swedish National Communications Security Authority, and Swedish Armed Forces, "Position Paper on Quantum Key Distribution," BSI, 2024 (available at https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/EN/BSI/Crypto/Quantum_Positionspapier.html、2024 年 2 月 13 日).

Azuma, Koji, Sophia E. Economou, David Elkouss, Paul Hilaire, Liang Jiang, Hoi-Kwong Lo, and Ilan Tzitrin, "Quantum Repeaters: From Quantum Networks to the Quantum Internet," arXiv: 2212.10820, 2023.

Barrett, Jonathan, Roger Colbeck, and Adrian Kent, "Memory Attacks on Device-

Independent Quantum Cryptography," *Physical Review Letters*, 110, 010503, 2013.
Bennett, Charles H., and Gilles Brassard, "Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing," *Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems, and Signal Processing*, 1984 (available at https://doi.org/10.1016/j.tcs.2014.05.025、2023 年 7 月 6 日).
———, ———, and N. David Mermin, "Quantum Cryptography without Bell's Theorem," *Physical Review Letters*, 68(5), 1992, pp. 557–559.
Grosshans, Frédéric, Gilles Van Assche, Jérôme Wenger, Rosa Brouri, Nicolas J. Cerf, and Philippe Grangier, "Quantum Key Distribution Using Gaussian-Modulated Coherent States," *Nature*, 421, 2003, pp. 238–241.
Gottesman, Daniel, Hoi-Kwong Lo, Norbert Lütkenhaus, and John Preskill, "Security of Quantum Key Distribution with Imperfect Devices," *Quantum Information and Computation*, 4(5), 2004, pp. 325–360.
Ekert, Artur K., "Quantum Cryptography Based on Bell's Theorem," *Physical Review Letters*, 67, 1991, pp. 661–663.
Hwang, Won-Young, "Quantum Key Distribution with High Loss: Toward Global Secure Communication," *Physical Review Letters*, 91(5), 057901, 2003.
Koashi, Masato, "Simple Security Proof of Quantum Key Distribution Based on Complementarity," *New Journal of Physics*, 11(4), 045018, 2009.
Lo, Hoi-Kwong, Marcos Curty, and Bing Qi, "Measurement-Device-Independent Quantum Key Distribution," *Physical Review Letters*, 108, 130503, 2012.
———, and F. H. Chau, "Unconditional Security of Quantum Key Distribution over Arbitrarily Long Distances," *Science*, 283(5410), 1999, pp. 2050–2056.
———, Xiongfeng Ma, and Kai Chen, "Decoy State Quantum Key Distribution," *Physical Review Letters*, 94(23), 230504, 2005.
Lucamarini, Marco, Zhiliang Yuan, James F. Dynes, and Andrew J. Shields "Overcoming The Rate-Distance Limit of Quantum Key Distribution without Quantum Repeaters," *Nature*, 557, 2018, pp. 400–403.
Matsuura, Takaya, Kento Maeda, Toshihiko Sasaki, and Masato Koashi, "Finite-Size Security of Continuous-Variable Quantum Key Distribution with Digital Signal Processing," *Nature Communications*, 12, 252, 2021.
Mayers, Dominic, "Quantum Key Distribution and String Oblivious Transfer in Noisy Channels," *Advances in Cryptology—CRYPTO '96*, 1996, pp. 343–357.
Müller-Quade, Jörn, and Renato Renner, "Composability in Quantum Cryptography," *New Journal of Physics*, 11, 085006, 2009.
National Cyber Security Centre (NCSC), "Quantum Security Technologies," NCSC, 2020a

(available at https://www.ncsc.gov.uk/whitepaper/quantum-security-technologies、2023年8月28日).

———, “Preparing for Quantum-Safe Cryptography,” NCSC, 2020b (available at https://www.ncsc.gov.uk/pdfs/whitepaper/preparing-for-quantum-safe-cryptography.pdf、2023年8月23日).

National Institute of Standards and Technology (NIST), “Status Report on the Third Round of the NIST Post-Quantum Cryptography,” NIST, 2022 (available at https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8413-upd1、2023年7月18日).

National Security Agency, “Quantum Key Distribution (QKD) and Quantum Cryptography (QC),” National Security Agency, 2021 (available at https://www.nsa.gov/Cybersecurity/Quantum-Key-Distribution-QKD-and-Quantum-Cryptography-QC/、2023年6月20日).

NLNCSA, “Prepare for the Threat of Quantum Computers,” General Intelligence and Security Service (AIVD), 2022 (available at https://english.aivd.nl/publications/publications/2022/01/18/prepare-for-the-threat-of-quantumcomputers、2024年3月27日).

Nielsen, Michael A., and Isaac L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information (10th Anniversary Edition)*, Cambridge University Press, 2010.

Pereira, Margarida, Go Kato, Akihiro Mizutani, Marcos Curty, and Kiyoshi Tamaki, “Quantum Key Distribution with Correlated Sources,” *Science Advances*, 6(37), eaaz4487, 2020.

Pirandola, Stefano, Riccardo Laurenza, Carlo Ottaviani, and Leonardo Banchi, “Fundamental Limits of Repeaterless Quantum Communications,” *Nature Communications*, 8, 15043, 2017.

Renner, Renato, “Security of Quantum Key Distribution,” Dissertation ETH, No. 16242, ETH Zurich, 2005 (available at https://arxiv.org/abs/quant-ph/0512258、2023年7月20).

———, and Ramona Wolf, “The Debate over QKD: A Rebuttal to the NSA’s Objections,” arXiv: 2307.15116, 2023.

Sajeed, Shihan, Poompong Chaiwongkhot, Anqi Huang, Hao Qin, Vladimir Egorov, Anton Kozubov, Andrei Gaidash, Artur Vasiliev, Artur Gleim, and Vadim Makarov, “An Approach for Security Evaluation and Certification of a Complete Quantum Communication System,” *Scientific Reports*, 11, 5110, 2021.

Shor, Peter W., and John Preskill, “Simple Proof of Security of the BB84 Quantum Key Distribution Protocol,” *Physical Review Letters*, 85(2), 2000, pp. 441–444.

Tomamichel, Marco, Christian Schaffner, Adam Smith, and Renato Renner, “Leftover Hashing Against Quantum Side Information,” *IEEE Transactions on Information The-*

ory, 57(8), 2011, pp. 5524–5535.

Wang, Xiang-Bin, "Beating the Photon-Number-Splitting Attack in Practical Quantum Cryptography," *Physical Review Letters*, 94(23), 230503, 2005.

Wegman, Mark N., and J. Lawrence Carter, "New Hash Functions and Their Use in Authentication and Set Equality," *Journal of Computer and System Sciences*, 22(3), 1981, pp. 265–279.

Wengerowsky, Sören, Siddarth Koduru Joshi, Fabian Steinlechner, Hannes Hübel, and Rupert Ursin, "An Entanglement-Based Wavelength-Multiplexed Quantum Communication Network," *Nature*, 564, 2018, pp. 225–228.

補論

ϵ-安全（ϵ-security）の証明には、大きく 2 つのアプローチがある。

1 つ目のアプローチは、量子版の残余ハッシュ補助定理（leftover hash lemma）を使う方法（Renner [2005]、Tomamichel *et al.* [2011]）である。この方法は、ふるい鍵のハッシュ値を送受信者間で比較するものである。正規の送受信者の場合、一致したふるい鍵を共有しているため、ハッシュ関数値が両者間で一致する。ふるい鍵の一部の情報しか持っていない盗聴者にとっては未知の要素が混じるため、出力の一致を確認できない。両者が十分に一致していれば、最終鍵は安全であるといえる。

2 つ目のアプローチは、仮想的な誤り訂正を考える方法（Lo and Chau [1999]、Shor and Preskill [2000]、Koashi [2009]）である。この方法は、盗聴による鍵の変化を、盗聴者が鍵の情報を得たことによって生じる誤り（エラー）とみなし、その訂正可能性を検証するものである。もし訂正が可能であれば、盗聴者は十分な量の情報を得ておらず、最終鍵は安全であるといえる。この方法は、実験的に非常に難しい量子誤り訂正を実施することなく、訂正可能性をエラー率から理論的に判定するのみであるため、仮想的な誤り訂正と呼ばれる。これらの証明のあと、ϵ-security を保証するための対象とするプロトコルにおいて、最終鍵の安全性の高さを示す特徴的な量（min-entropy、位相エラー率）をより厳密に評価する議論が発展していった。

金融研究所の概要

金融研究所（Institute for Monetary and Economic Studies, IMES）は 1982 年 10 月に日本銀行創立百周年を記念して、日本銀行の内部組織の 1 つとして設立されました。その主な目的は、(1) 金融経済の理論、制度、歴史に関する基礎的な研究の充実を図り、日本銀行の政策の適切な運営に役立てること、(2) 学界等との交流を促進すること、(3) 外部の研究活動の便宜に資する各種情報、資料等を公に提供することです。

主な活動

研究活動

・金融経済の基本的問題に関する理論・実証的研究。
・金融関連の制度基盤（法律・会計・中央銀行制度等）に関する研究。
・金融関連の情報技術に関する研究。
・金融経済の歴史に関する研究。
・金融経済に関する歴史的資料の収集・保存・公開（アーカイブ・貨幣博物館）。

顧問および客員研究員の招へい

・国内外の有力学者若干名に研究所顧問（非常勤）を委嘱し、研究所の運営、研究活動の進め方、内外学界との交流等に関する助言を受けています。
・国内外より学者数名を客員研究員として招へいし、研究活動の強化を図っています。

会議の開催

・海外中央銀行、国際機関の研究者や内外の著名学者を交えた会議を開催。
・外部の研究者、専門家を交えた研究会、セミナー等を適宜開催。

刊行物の発行

金融研究、Monetary and Economic Studies、IMES Discussion Paper Series、日本銀行の機能と業務、国際コンファランス議事録等を公刊（刊行物の一覧は後掲）。

貨幣博物館

国内を中心とした貴重な貨幣や貨幣にかかわる資料を貨幣博物館に展示するとともに、貨幣に関する歴史資料をホームページ等で公開（博物館の案内は後掲）。

歴史的公文（歴史的文書）の公開

日本銀行に関連する歴史的資料のうち、歴史的価値を有するものについて、日本銀行金融研究所アーカイブで保管・整理し、一般に公開（アーカイブの案内は後掲）。

研究の委託

人員面、資料面の制約等から所内での研究が困難なテーマについて外部の学者等に研究を委託。

主な刊行物

金融研究

邦文機関誌、年 4 回程度発行。金融研究所の研究論文や各種ワークショップの模様、研究会報告等を公表。

Monetary and Economic Studies

英文機関誌。『金融研究』と同様、金融研究所の研究論文等を公表（『金融研究』掲載論文の英訳のほか、英文オリジナル論文を含む）。

IMES Discussion Paper Series（E-Series：英語版、J-Series：日本語版）

金融研究所スタッフおよび外部研究者による研究成果の未定稿を随時公表。学界、金融機関、関係者等から、広くコメントを求めることを目的としている。

国際コンファランス議事録

- *Growth, Integration, and Monetary Policy in East Asia*（*Monetary and Economic Studies*、Vol. 25、No. S-1、2007年）
- *Financial Markets and the Real Economy in a Low Interest Rate Environment*（*Monetary and Economic Studies*、Vol. 24、No. S-1、2006年）
- *Incentive Mechanisms for Economic Policymakers*（*Monetary and Economic Studies*、Vol. 23、No. S-1、2005年）
- *Challenges for Sustained Economic Growth under Changing Economic, Social, and International Environments*（*Monetary and Economic Studies*、Vol. 22、No. S-1、2004年）
- *Exchange Rate Regimes in the 21st Century*（*Monetary and Economic Studies*、Vol. 20、No. S-1、2002年）
- *The Role of Monetary Policy under Low Inflation: Deflationary Shocks and Policy Responses*（*Monetary and Economic Studies*、Vol. 19、No. S-1、2001年）
- *Monetary Policy in a World of Knowledge-Based Growth, Quality Change and Uncertain Measurement*（Palgrave、2001年）
- *Towards More Effective Monetary Policy*（Macmillan Press、1997年）
- *Financial Stability in a Changing Environment*（Macmillan Press、1995年）
- *Price Stabilization in the 1990s: Domestic and International Policy Requirements*（Macmillan Press、1993年）
- *The Evolution of the International Monetary System: How Can Efficiency and Stability Be Attained ?*（University of Tokyo Press、1990年）
- *Toward a World of Economic Stability: Optimal Monetary Framework and Policy*（University of Tokyo Press、1988年）
- *Financial Innovation and Monetary Policy: Asia and the West*（University of Tokyo Press、1986年）
- *Monetary Policy in Our Times*（MIT Press、1985年）

なお、2008 年以降に開催された国際コンファランスについては、議事要旨等を *Monetary and Economic Studies* に所収。

日本銀行の機能と業務（有斐閣、2011 年発行）
　日本銀行がどのような役割・機能を担い、また、これを果たすため、どのような業務を行っているのかについて、網羅的かつ具体的に解説。

貨幣博物館 常設展示図録（ときわ総合サービス、2017 年発行）
　貨幣博物館の展示資料を紹介した図録です。

日本銀行金融研究所（IMES）
〒103-8660 東京都中央区日本橋本石町 2-1-1
TEL：03-3279-1111、FAX：03-3510-1265
E-mail：imes.journals-info@boj.or.jp
ホームページ：https://www.imes.boj.or.jp

資料公開サービス

以下の資料公開サービスを行っておりますので、ご利用下さい。

(1) 貨幣博物館の公開

2015年11月、貨幣博物館はリニューアルオープンしました。日本の貨幣を中心に、和同開珎や大判・小判の実物、貨幣に関する絵画など、貴重な資料を多数展示するとともに、所蔵資料を貨幣博物館ホームページ等で一般に公開しています。20名以上の団体で見学を希望される場合は予め電話でご連絡下さい。

開館時間：9時30分～16時30分（入館は16時まで）
休 館 日：月曜日（ただし祝休日は開館）
年末年始（12月29日～1月4日）
※最新の情報は下記の当館ホームページで
お知らせいたしますので、ご確認下さい。
貨幣博物館ホームページ：https://www.imes.boj.or.jp/cm/
〈連絡先〉金融研究所　貨幣博物館
TEL：03-3277-3037（直通）

(2) 日本銀行が保有する歴史的公文（歴史的文書）の公開

金融研究所では、日本銀行に関連する歴史的資料のうち、歴史的価値を有するものについて保管・整理し、一般に公開しています。閲覧をご希望の方は、当館ホームページ掲載の目録で検索のうえ、予めメール・電話にてご連絡下さい。

歴史的公文の目録：https://www.imes.boj.or.jp/archives/hozon.html
〈連絡先〉金融研究所　アーカイブ
E-mail：imes.archives@boj.or.jp
TEL：03-3277-2151（直通）

金　融　研　究（第 43 巻 第 4 号）
ISSN 2759–5099
2024 年 10 月 21 日　発行
日本銀行金融研究所長
編集兼発行者　渡 辺 真 吾
発　行　所　日本銀行 金融研究所
郵便番号 103–8660
東京都中央区日本橋本石町 2–1–1
電　話：（03）3279–1111（大代表）
国際文献社
本誌に関する照会は、日本銀行金融研究所までお寄せ下さい。