

統計的探究能力の育成に向けた基礎的考察

— 「Problem」と「Plan」の活動に焦点を当てて—

Fundamental consideration on development of statistical investigation skills:
Focusing on “Problem” and “Plan” activities in PPDAC cycle

大谷 洋貴
OTANI Hiroki

【要旨】 学校教育の世界的動向として、内容指導から能力育成へのシフトおよび統計教育の強調があげられる。統計的探究能力の育成が学校教育に期待されているが、そのための基盤がまだ十分に整備されていない状況である。そこで本稿では、統計的探究能力の段階的な育成に向けた基盤構築の一環として、解決すべき問題を定義する活動（Problem）と、定義された問題を解決するためにどんなデータをいかにして収集するかを検討する活動（Plan）について、学習者のパフォーマンスの段階的発達を先行研究の知見に基づいて構築するとともに、我が国の先行研究で記述されている学習者のパフォーマンスを再解釈することに取り組んだ。先行研究の再解釈の結果、「Problem」に関して、学習者は実際の非統計的状況を統計的質問に定式化する活動の経験がほとんどないことが明らかとなった。そのため、学習者が定式化の活動をすることはどの学年段階からどの程度可能かを実際に調査する必要がある。また、「Plan」については、標本と母集団の関係をいつどのように指導するのかを再考する必要があることが示唆された。現在は中学校第3学年で明示的に指導されることになっているが、小学校段階でもある程度指導することは可能であり、学習者の実態を調査する必要がある。

1. はじめに

あらゆる情報の源はデータである。情報過多の現代社会において、不確定な事象を統計的に探究できることは全ての市民に求められる今日的なリテラシーに他ならない (e.g., Franklin et al., 2007)。教育とは未来への投資であるから、高校進学率がほぼ 100 % にのぼる我が国では、すべての子どもに 12 年間の統計指導を通して統計的に探究する能力を備えさせることは社会的使命となっている。

世界的な動向からやや遅れをとっているが、我が国でも統計教育の重要性が漸く認知され、学校教育においてそれが強調されてきているのは周知のとおりである。しかし、根本的には、統計的知識の系統的展開に沿って構築された内容ベースカリキュラムのままであり、能力育成の観点から構築されているわけではないことが指摘される (青山, 2014; 大谷, 2018)。そのようなカリキュラムでは、知識は系統的に指導され得ても、能力が段階的に育成されるとは限らない点に問題があり、改善が急務である (奈須, 2017)。

これまでの我が国の統計教育研究では、後述する Wild & Pfannkuch (1999) の統計的思考モデルを規範的に利用し、統計的探究のプロセスあるいは統計的問題解決を授業において実現することが多く試みられてきた。そこでは、統計的探究プロセスを学習者に実践させることでその能力を育むことができる、という暗黙的な仮定がある (大谷, 2018)。伝統的な統計教育と同じように、

これからも統計的知識の系統的な指導に力点を置くのならそれで構わない。しかし、力点を置く場所を変えるならこの仮定が妥当であるとは考え難く、むしろその変化は世界的動向である。

12年間の統計指導を通して統計的探究能力を意図的に育むためには、その発達過程が明確でなくてはならない。能力の発達過程はカリキュラム開発や授業設計のための地図である(大谷, 2018)。問題の1つは、この地図が作成されていないため、先行研究で記述されている学習者のパフォーマンスが適切に解釈され得ない点である。すなわち、高校生が小学生レベルの統計的探究を実践している可能性もあれば、その逆に小学生がかなり質の高い統計的探究を実践できている可能性も想定され得る。統計的探究能力の発達過程を構築し明確にすることは、そのプロセスの実現を目指したこれまでの先行研究の再解釈を可能にするだけでなく、それを通して能力育成のための統計カリキュラム開発に向けた示唆を得ることもできる。

本稿では統計的探究能力の段階的な育成に向けた基盤構築の一環として、特に Wild & Pfannkuch (1999) の統計的思考モデルにおける「Problem」と「Plan」の活動に焦点を当て、そのグラデーションを検討するとともに、我が国の先行研究で記述されている学習者のパフォーマンスを再解釈することに取り組む。そのために、第2章では、先行研究との関連から本稿で取り組む課題を示す。続く第3章では、統計的探究に関する先行研究の知見に基づいて、統計的探究能力の発達過程を構築する。その観点から我が国のこれまでの研究成果を再解釈するのが第4章であり、最後に、そこから得られる示唆を第5章でまとめる。

2. 先行研究

2.1 統計的探究

統計を用いて不確実な事象を探究するプロセス、あるいは統計を用いて身の周りの問題を解決するプロセスを表現したモデルは様々ある。品質管理や改善の手法として広く周知されているPDCAモデル(Plan-Do-Check-Act)はその一例である。しかし、種々の統計的探究のモデルはどれも本質的に異なるわけではなく、強調点の相違によって異なるようにモデル化されているだけである(青山, 2009)。

本稿では、統計的探究のモデルとして、Wild & Pfannkuch (1999) によるPPDACサイクルに依拠する。理由は2つある。第一に、統計学者が問題解決する際の共通理解などに基づいてモデル化されており、規範的(normative)な価値を帯びている点である(Shaughnessy, 2007)。第二に、このモデルが、多くの先行研究で、特に我が国において用いられ普及しており、各活動の特徴が意識的に記述されている点である。統計教育先進国であるニュージーランドをはじめとして、このモデルは統計カリキュラムのなかに位置付けられてきている¹⁾。

PPDACサイクルは図1に示される。「Problem」の相では、実生活にある漠然とした問題を、統計的に解決可能なものへと明確にしていく活動が営まれる。それを解決するための実験デザインを考案するのが「Plan」の相である。そして実際に「Data」の相でデータを収集して整理し、「Analysis」の相でデータを分析する。最終的に、最初に設定した問題に照らして、分析結果を判断するのが「Conclusion」の相である。

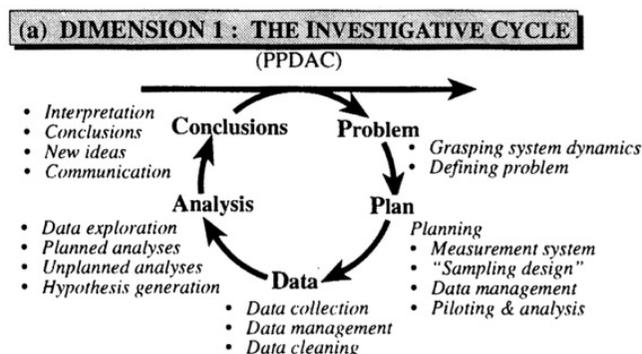


図1.PPDAC サイクル (Wild & Pfannkuch, 1999, p.226)

Shaughnessy (2007) は、ポリアの数学的問題解決のモデルと対比しながら、PPDAC サイクルの特徴を2つ指摘する。1つは、複雑な現実の文脈の伴う非統計的な状況から統計的な問題を適切に定式化するために、「Problem」と「Plan」の相を往復する点である。同じ「Plan」の活動でもそのなかみは大きく異なる。もう1つは、「Data」の相で収集するデータには「偏り、制御不能な変動源、文脈の問題、といった余計な手荷物(excess baggage)が付随する」(ibid., p.963)点である。数学的問題で遭遇するタイプのデータとは異なっている。

統計的探究のプロセスは5つの活動によって特徴付けられる。それぞれの活動に習熟させ熟達させることを統計的探究能力の育成としてみなすことができるが、問題は具体的な姿である。学校教育の入口段階における未熟な状態と、その出口段階で望ましいパフォーマンスを発揮できる状態は全く異なる。しかし、前者から後者への発達過程は明確ではなく、これまでその発達は統計的知識の指導の副産物であった。また、統計的探究の活動を繰り返し経験する機会を単に提供するだけで、望ましい状態へと仕上がるとも思えない。もしそれが可能であるなら、そもそも能力育成は議論の俎上に載り得ない。統計教育研究に期待されるのは、意図的な能力育成のために、この発達過程を構築することである。

2.2 能力育成のための作業課題

能力の長期的な発達過程を明確にすることは、その能力を育成するための長期的ループリックを作成することに他ならない(西岡, 2014)。長期的ループリックは、当該能力に関して学習者の長期的な発達を捉えるために、授業や単元や学年を超えて繰り返し用いられるループリックである。長期的ループリックが参照されながら授業や単元などの短期的なカリキュラムは設計されることができるだけでなく、その実施と反省のフィードバックを通して長期的なカリキュラムが改善され得る(西岡, 2014; ウィギンズ・マクタイ, 2012)。

各学校種を超える長期的ループリックの作成は、能力の育成を掲げる多くの実践や研究が見逃ごしていたり暗黙的なままにしていたりする部分である(大谷, 2018)。そしてそれは、学校種という制約を受ける実践的研究者では作成が困難でもある。小学校教師は小学校の入口から出口までを射程に入れるループリックを作成できるが、学校教育全体のループリックを作成することは難しい。統計教育研究に期待されるのは、統計的探究の発達過程を具体化した、各学校種を超え

る長期的ルーブリックの作成である。

大谷(2018)では、統計的推測スキルの場合でそれが検討されているが、それと不可分な関係にある統計的探究についての言及は見られない。得られたデータから妥当な結論を導く統計的推測スキルは、統計的探究のプロセスから見れば、主として「Plan」や「Conclusion」の相に関わると思われる。また、青山(2014)では、統計的探究の5つの相がそれぞれ3つのレベルに区分されている。区分を設けることで、能力の段階的な育成を企図した点には大きな意義がある。しかし、なぜ3つなのかには言及していない。また、段階設定における理論的背景が明らかにされていないために、その提案が直感的なものになってしまっていることが指摘される。

青山(2014)の論文などで示唆されるように、統計的探究能力の育成は5つの相それぞれである程度は個別に検討することが可能である。無論、実際の発達においては相互関係が想定され得るが、各相の活動の質的進展は互いに独立に検討可能である。したがって、統計的探究能力の発達を捉える長期的ルーブリックは図2のように示される。統計教育研究に求められるのは、この表の各セルを先行研究の知見に基づいて埋めていく作業に他ならない。

段階	統計的探究の様相				
	Problem	Plan	Data	Analysis	Conclusions
0					
1					
...					
n					

図2. 長期的ルーブリックの枠組み

2.3 我が国の先行研究の批判的考察

我が国において統計的探究を主題とする研究は少なくない。しかし、その多くの研究の関心は統計的探究プロセスの授業における実現にあるのであって、統計的探究能力の段階的な発達過程の構築にはない。どんな題材や課題を用いればよいのか、どんな手立てを講じればよいのかに関心が集まり、どの学年段階でどのレベルの統計的探究を目指すのかという能力発達の側面は注目されていない。例えば、新井(2009)では、PPDACサイクルを実現するために開発した教材とその実施における学習者の活動の様子が報告されているだけである。

統計的探究能力の育成のための長期的ルーブリック作成において、確かに我が国の子どもたちの実態を抜きに考えることはできない。藤原ら(2015)や塩澤ら(2016)による調査研究は、我が国の子どもたちの実態を明確にしている点で示唆的である。しかし、それらの研究成果のカリキュラム改善への示唆は、指導内容や指導方法に向けられており、統計的探究能力の段階的な発達過程の構築ではない。また、質問紙に適切に回答できることが、実際にそのパフォーマンスを発揮できることと同一視できるとは限らない。質問紙に回答するために用いられるような知識が評価されている可能性は否定できない。むしろ本稿の関心は、子どもたちの実態を調査する際に、それらの研究が視点とした分析枠組みそれ自体にある。

以下では、統計的探究能力の育成のための基礎的考察として、Wild & Pfannkuch(1999)の統計的探究プロセスのうち、統計に特徴的な「Problem」と「Plan」の相に着目し、その段階的な発達過

程を先行研究の知見に基づいて構築する。そして、その視座から、我が国でこれまで取り組まれてきた個別の研究成果を分析し、それらの研究で記述されている学習者のパフォーマンスがどのように特徴づけられるかを明らかにする。

3. 先行研究に基づく段階設定

Shaughnessy (2007) が指摘するように、Wild & Pfannkuch (1999) のPPDAC サイクルの特徴の1つは、複雑な現実状況を統計的な問題へと定式化することであり、それは「Problem」と「Plan」の相の往還によって達成される。青山・小野 (2016) などの統計的探究の実践事例を載せている論文でも指摘されているように、これら2つの相は実践場面において厳密に切り離すことはできない。そのため、例えばFranklin et al. (2007) では「Formulate Questions」というラベルで、Fitzallen, Watson & English (2015) では「Pose questions」で2つの相が括られている。

しかし、今日では、問いを生み出す行為それ自体に価値があることが認識されており (e.g., Chevillard, 2015), 統計の場合でも同様である。これまでの統計教育において、問いはしばしば教師から与えられ、自らが生み出すものではなかったかもしれない。実際、Shaughnessy (2007) は、これまでの統計教育がPPDACのAとCにしか焦点化していなかったことを指摘する。本稿では、問いの生成の重要性を踏まえ、両者が相互関連していることは承知した上で、可能な限り、問いを生み出す「Problem」の相とその問いの解答方法を検討する「Plan」の相を区別して取り扱うこととしたい。

3.1 「Problem」のグラデーション

Wild & Pfannkuch (1999) のPPDAC サイクルにおいて、「Problem」の相は、解決すべき問題を定義する活動のことである。問題を適切に定義するには、対象の個別な要素が全体的なシステムとしてどのように関わりあっているのかを把握することが大切である。

この「問題」という言葉は、いささか多義的である。安藤 (2012) は、品質管理の文脈を援用して、統計を用いた問題解決における「問題」を「仕事の結果の悪さ」と定義する。問題とは、何らかの結果に対するものであり、あるべき姿と現状とのギャップのことであると主張する。さらに、このように定義することが、実際的な改善の糸口をつかみやすいこと、現状を客観的・具体的に把握しやすいこと、詳細な分析が可能であることなどの利点をもつことを述べている。この捉え方に従えば、統計指導でしばしば見られる「このクラスの子どもが一週間で図書館から借りた本の冊数はどれくらいだろうか」のような「問題」は問題ではなく、問い(question)と解釈できる。つまりそれは、「このクラスは読書時間が少ない」などの困難性のある問題を解決する際に取り組みされる対象の1つである。1つの問題に対して、解決のために取り組みられる問いや課題は複数存在し得る。この区別に基づけば、「Problem」の相の活動は、非統計的な問題を統計で解決可能な問いへと定式化することである。

「Problem」の相のグラデーションについて、青山 (2014) は表1の3つのレベルを構想している。なお、問題と問いに関する上記の区別がなされているわけではない点に注意が必要である。

表1. 「Problem」のレベル (青山, 2014)

レベル	パフォーマンス
1	取り組む問題は初めから統計的な問題となっており, 対象とするデータも定まっている。
2	統計的でない一般的な問題から始まり, 統計的な問題へと設定していく
3	一般的な問題から始まり, 統計的な仮説検定ができる形での問題を設定する。

このレベル1で想定されているのは, 統計的な問いが与えられるところから統計的探究が始まる点である。統計で解決可能な問題へと定式化できない, あるいは定式化しない状態である。Franklin et al. (2007) の言葉を用いれば, 教師が問いを与える場合の統計的探究であり, 学習者は非統計的な問題を想定していない。「このクラスの子どもが一週間で図書館から借りた本の冊数はどれくらいだろうか」のような統計的な問いを教師が与え, 学習者はそれに解答を試みる。

一方, 問いを提起する主体が学習者である場合も想定される。学習者が上記の統計的な問いを提起する場合である。しかし, この場合も, 「このクラスの読書時間が少ない」などの困難性のある非統計的な問題が明確であるとは限らない。問いの提起は問題解決の手段であるにも関わらず, それに解答すること自体が目的化している。そのような統計的探究では, 問いの解決に取り組む目的が存在しない。

表1のレベル2は「統計的でない一般的な問題から始まり, 統計的な問題へと設定していく」であり, 問題から問いへの定式化が想定されている。統計的な問いについて, Fitzallen, et al. (2015) は, それがもつ構成要素について言及している。女史らによると, 統計的な問いは, その問いが置かれている文脈や問いが対象とする母集団などの要素を持つ。この示唆を踏まえると, 文脈や調査対象といった統計的な問いの構成要素が曖昧にされている場合と明示されている場合とを区別することができる。例えば, 「このクラスの子どもが一週間で図書館から借りた本の冊数はどれくらいだろうか」はそれらが明示的な問いだが, 「図書館から借りた本の冊数はどれくらいか」は暗黙的である。

青山 (2014) の設定したレベル3は仮説の設定に関わっている。Wild & Pfannkuch (1999) のPPDACサイクルでは, 仮説を生成する活動は実は「Analysis」の相に含まれている。しかし, これは, 統計的な問題解決活動がサイクリックに進むことを意図しているからだと解釈でき, 「Problem」の相で仮説の生成が関わらないことを意味しない。むしろ仮説の生成とその検証は統計的問題解決にとって重要な位置を占め, 取り組むべき課題を明確にしてくれる。「Analysis」の相で仮説検定などによる検証が実施できるかどうかに関わらず, 問題の要因についての仮説を生成した上で問いへの定式化ができる状態はより望ましい「Problem」の相の活動である。

非統計的な問題から統計的な問いへの定式化において, 最も望ましいのは, 学習者が自ら問題を把握し, それを定式化することである。このことを考慮に入れば, 「Problem」の相に関するグラデーションは表2のようになる。青山 (2014) との相違は, レベル1に問いを提起する主体の区別を加えた点, レベル2に問いの構成要素が明示的か否かを加えた点, そして学習者が自ら問題を設定するレベル4を加えた点である。

表2. 「Problem」のグラデーション

レベル	パフォーマンス
1 ⁻	問題は学習者に意識されないか、存在しない。教師が統計的な問いを学習者に与える。
1 ⁺	問題は学習者に意識されないか、存在しない。学習者が統計的な問いを提起する。
2 ⁻	問題は教師が持っている。学習者は統計的な問いへと定式化できるが、問いの構成要素が暗黙的である。
2 ⁺	問題は教師が持っている。学習者は統計的な問いへと定式化でき、問いの構成要素は明示的である。
3	問題は教師が持っている。学習者は問題の要因についての仮説を生成した上で問いへの定式化ができる。
4	学習者は自ら解決すべき問題を定め、その要因についての仮説を生成した上で問いへの定式化ができる。

3.2 「Plan」のグラデーション

Wild & Pfannkuch (1999) のPPDACサイクルにおいて、「Plan」の相は、定義された問題を解決したり問いに取り組んだりするために、どのようなデータをいかにして収集するかを検討する活動である。続く「Data」の相で収集するデータが定式化された問いに解答可能なものであるために、調査計画を予め十分に検討しておくことが重要である。調査計画の立案においては、どんな変数をいかにして測定するのかわけだけでなく、母集団との関わりからどのような集団をいかにして調査するのも検討されなくてはならない。

「Plan」の相に関するグラデーションについて、青山(2014)は表3に示される3つのレベルを構想している。レベル1は、「Problem」の相と類似しているが、調査する変数が教師によって指定された問いに学習者が取り組む状況である。そこで学習者が注意を向けることができるのは、データをいかにして収集するのか、という測定方法である。質的か量的かを含め、どのようなタイプのデータを測定すべきかについては検討ができない状態が想定されている。一方、測定方法に関して、これをも教師が指定する状況が想定できる。それはより低次のレベルとみなされる。

表3. 「Plan」のレベル(青山, 2014)

レベル	パフォーマンス
1	集めやすいデータを対象として、集計方法などに注意して集める。
2	結果に影響しそうな変数を自ら設定し、収集方法についても検討する。
3	標本調査によるデータ収集方法を計画する。

青山(2014)の設定した「Plan」のレベル2は測定対象を検討できる状態である。いくつかの変数から、問いに解答可能でありそうな変数に着目することができる。このレベルでは、データの集計方法に関して、藤原ら(2015)が目指す「データ化」も話題になり得る。アンケートを実施

する際、調査目的に対応するデータを収集するために、回答の対象を限定したり要約したり、回答における数値の細かさを指定したり、回答の形式を定めたりすることができることもこのレベルに含まれると考えられる。

Fitzallen, et al. (2015) は、データを収集する際に関わる要素として、データのタイプや測定機器だけでなく、標本サイズや変動があることを指摘する。また Franklin et al. (2007) も、データ収集の計画においては、変動性をいかに減らすのが注意されなくてはならないと述べる。変動性の観点から見れば、レベル1+までは、そもそも母集団と標本の関係についての意識がなかったり、あるとしても変動をいかに制御し減らすかが問題にされなかったりする状態であると考えることができる。大谷 (2017) においても、母集団と標本の間を認識しない状態とそれを認識するが標本変動を考慮できない状態とが区別されている。このことを踏まえれば、このレベル2はさらに2つに区別されることができる。

レベル3は標本調査法を用いることができる状態である。変動を制御して減らすために注意すべき観点として、標本の抽出方法と抽出サイズがある。標本を無作為に抽出してもサイズが小さければそれが偏っている可能性は否定できず、標本サイズが大きいからといって有意抽出ではそれが母集団を代表していないかもしれない。したがって、これらの観点から、レベル3は、標本の抽出方法と抽出サイズの一方を考慮に入れるか両方かでさらに区別できる。

以上をまとめれば、「Plan」の相に関するグラデーションは表4のようになる。

表4. 「Plan」のグラデーション

レベル	パフォーマンス
1 ⁻	計画は教師によって与えられる。
1 ⁺	測定対象は教師によって与えられるが、学習者は測定方法を検討することができる。
2 ⁻	学習者は調査における測定対象と測定方法の両方を検討することができるが、母集団と標本の間を認識していない。
2 ⁺	学習者は調査における測定対象と測定方法の両方を検討することができるが、母集団と標本の間を認識しているが、標本変動を考慮することはできない。
3 ⁻	学習者は、標本の抽出方法と抽出サイズの一方を考慮しながら、調査における測定対象と測定方法を検討することができる。
3 ⁺	学習者は、標本の抽出方法と抽出サイズの両方を考慮しながら、調査における測定対象と測定方法を検討することができる。

3.3 分析の対象と方法

統計的探究の実践報告は数多いが玉石混淆であり、そのすべてを網羅するのは現実的ではない。そこで本稿では、我が国の統計教育研究をレビューした大谷 (2017) において対象となっている査読付論文を対象を限定する。とりわけ、統計的探究を主題としてその過程が明確に記述されている論文、Wild & Pfannkuch (1999) のPPDACサイクルを引用して統計的思考の育成を試みている論文、あるいは統計的探究プロセスの実現を意図して学習活動の展開を記述している論文、これらの論文に記述されている学習者の様相を、「Problem」(表2)と「Plan」(表4)のグラデーション

ンを視点としてそれぞれ分析する。分析の対象となったのは、次の9つの論文である：青山・小野(2016)、新井(2009)、藤原(2012)、垣花(2013)、裕元・中越(2015)、峰野(2017)、中隴(2013)、大岡(2009)、田中(2013)²⁾。

各論文で記述されている統計的探究プロセスのうち、問題から定式化する部分の活動に焦点を当て、学習者がどのように問いを提起しているか、それを解決するためにどのように計画を立案しているかを可能な限り抽出する。コード化の視点は「Problem」と「Plan」のレベルである。教師の介入によって学習者が特定のパフォーマンスを発揮できるようになった場合は、学習者の様相に含めない。これらの活動が論文中に明確に記述されていない場合は、学習者ではなく教師がその活動を行ったとみなし、1-とコード化する。

4. 結果

本章では、上記の各論文をそれぞれ取り上げ、表2と表4の観点で論文中に記述されている学習者の様相をコード化する。なお、論文で記述されている学習者の学年が若い方から順に取り上げる。

裕元・中越(2015)や青山・小野(2016)では、小学校3年生を対象に、PPDACサイクルに沿って設計された単元や授業における児童の思考や活動が分析されている。しかし、どちらの論文でも、「Problem」と「Plan」は学習者自ら活動するには難しいこと、教師の支援が不可欠であることが指摘されている。したがって、両方の観点でレベル1-と判断できる。

大岡(2009)では、PPDACサイクルに沿って設計された単元において、小学校6年生がどのように統計的思考を変化させていくのが考察されている。「Problem」の場面では、「補助発問を交えながら児童の意識を登校することに向けることで、最終的にテーマは「家を出てから学校へ着くまでにかかる時間」と定義することができた」(p.106)とあるように、教師の支援によって学習者が統計的な問いへと定式化できたことが報告されている。一方、「Plan」に関しては、教師の支援なしでアンケートを調査手段とすることが学級で合意されており、レベル2-に該当すると判断できる。

新井(2009)はPPDACサイクルの実現を可能にする教材の開発を目的としている。「朝のあいさつ運動」を教材とした授業実践を通してその価値を主張しているが、問題と問いは教師が与える形態となっていることが読み取れる。また、データ収集を実際に行っていないものの、与えられたデータと調査する母集団との関係について生徒が言及していることを確認することができる。そのため、「Plan」に関してはレベル2+に該当すると考えられる。

藤原(2012)では、中学校1年生が主体的に統計的問題解決プロセスの2周目へと進展させる授業が実践されている。そこでは、教師が「単純作業を能率的に行うにはどうすればよいか」という一般的な問いを提示し、それを生徒が統計的な問いに翻訳するところから始まっている。さらに、PPDACサイクルの2周目以降では、「Analysis」の相対検討された仮説の検証が「Problem」となって活動が進展していることが読み取れる。これはレベル3である。また、「Plan」では結果に影響を与えそうな要因を検討したり測定方法の修正について議論したりしていることが読み取れる。しかし、標本と母集団との関係については議論されておらず、変動も考慮されていない。

垣花(2013)では、中学校1年生と高校生(学年不詳)の統計的活動が記述されている。しかし、

どちらの場合も、問題や問い、問いに解答するための計画は、教師によって与えられている。教師が2つの相の活動を主導していることがわかる。

峰野(2017)では、中学校2年生を対象として、変数を生成・選択する活動の観点で授業が検討されている。そこでは、「2015年の桜の開花日を予想しよう」という最初の問いこそ教師が提示しているものの、PPDACサイクルの2周目では、「データの裏側にある現象や文脈に着目」(p.6)しながら取り組むべき問いを検討している学習者の姿が読み取れる。これはレベル2⁺である。「Plan」に関しては、標本の認識は論文記述からでは読み取ることができないが、多様な変数を生成・選択しており、レベル2⁺のパフォーマンスを発揮していることがわかる。

田中(2013)は、高校1年生に、統計的探究プロセスを体験させて統計的思考力を養成することを試みている。二度の統計的探究が実施されたことが記述されている。そのどちらも、生徒自身が調査したい対象を議論し決定している。論文の記述からそれらは統計的な問いであると推察できるが、背後にある問題は明確でなく、レベルは1⁺と判断できる。また、「Plan」については活動主体の記載がなく判断できない。

中隴(2013)は高校1年生を対象に、統計ソフトRを利用した問題解決型教材の開発とその効果の検証を行っている。「Problem」の相では、問題を教師が提示しているが、生徒はそれを解決するために統計的な問いを自ら設定していることが読み取れる。「Plan」の相では、収集するデータのタイプやデータの分析方法の検討がなされているが、標本と母集団の関係に関する記述は読み取ることができないため、レベル2⁻のパフォーマンスとして判断できる。

以上の分析結果は表5にまとめられる。

表5. 我が国の先行研究にみる「Problem」と「Plan」の活動の様相

論文	対象学年	Problem	Plan
裕元・中越(2015)	小3	1 ⁻	1 ⁻
青山・小野(2016)	小3	1 ⁻	1 ⁻
大岡(2009)	小6	1 ⁻	2 ⁻
新井(2009)	中1	1 ⁻	2 ⁺
藤原(2012)	中1	3	2 ⁻
垣花(2013)	中1／高校	1 ⁻	1 ⁻
峰野(2017)	中2	2 ⁺	2 ⁺
田中(2013)	高1	1 ⁺	1 ⁻
中隴(2013)	高1	2 ⁺	2 ⁻

5. 結論

分析結果から得られる示唆について、以下では、「Problem」と「Plan」のそれぞれについて検討する。

5.1 「Problem」について

我が国の先行研究の分析結果から明白なのは、学習者が自ら解決すべき問題を定めること(レベル4)がなされていない点である。どの論文でも問題を与えられるところから活動が始まって

いる。PPDAC サイクルを授業において実現することを幾度となく試みても、本稿で分析した論文のように、問題の定義は教師が行なってしまっている可能性がある。主体的な統計的問題解決者になるために、問題を適切に定義できることは学校教育における統計指導のゴールの1つであるが、安藤(2012)は問題の認識や定義こそが難しいと指摘する。学習者による問題定義は自然にできるようになるものとは考えにくい。意図的にそれを促し、問題定義できるよう企図する必要性が認められる。

また、学習者は、現実的な非統計的状况を統計的な問いへと定式化する活動に取り組む経験をほとんど与えられていないことも明らかである。多くの論文では、ほとんど統計的に定式化された問いを教師が与えることから統計的探究が始まっていた(レベル1-)。論文のなかには、何らかの問題の解決が活動目的ではなく、調査すること自体が目的化しているものも見られた。例えば、田中(2013)では、通学時間などの生徒が調査してみたい対象を探究させているが、その調査を行う目的、困難性のある問題は明らかではない。このような学習者が最初に取り組む活動は「Problem」ではなく「Plan」であり、活動目的は教師から与えられる問いの解決になっている。統計的探究を問題解決の方法として扱わなければ、「Problem」の活動は生じ得ないことが示唆される。

裕元・中越(2015)と青山・小野(2016)の研究成果からわかるように、小学校段階では問題設定に教師の支援や誘導が不可欠である。定式化する活動が可能だとしても、「3年1組の生活スタイルを調べよう」(裕元・中越, 2015)のように、調査が目的にならざるを得ないのかもしれない。レベルの高い「Problem」の活動が小学校段階からできるようになる必要は必ずしもない。少なくとも、教師の支援に基づいた定式化の活動を繰り返し経験しそれに慣れることが小学校段階で目指されると思われる。

統計的な問いを学習者が生成する姿が見られた論文(藤原, 2012; 峰野, 2017; 中隴, 2013)では、問題を解決するために、どのような変数に着目するのかが検討されていた。変数選択は一般に「Plan」の活動と解釈されるが、Shaughnessy(2007)が指摘するように統計的な定式化が「Problem」と「Plan」の往還からなるとすれば、調査計画を立案する中で統計的な問いがより焦点化されていくと理解でき、むしろそのような往還がなければ定式化は実現できないのかもしれない。したがって、藤原(2012)の論文から示唆されるように、結果に影響を及ぼし得る要因を検討することは、仮説検証の形で統計的活動に取り組ませるためのアプローチとなり得る。

全体として、学年の進展による変化が見られないのは、「Problem」の活動が相対的に低い地位にあるからだと考えることが妥当であると思われる。Chevallard(2015)が指摘するように、統計的知識の指導を優先するパラダイムでは、問いへ定式化する「Problem」の活動が入り込む余地はない。しかし、今日的に言って、統計的な問題の定義や問いへの定式化は重要な問題解決能力である。その位置付けを根本的に検討する必要がある。

5.2 「Plan」について

測定すべき対象に関わる活動の有無は、レベル1+と2-を区別する。統計的な問いに解答させるために変数を生成・選択する活動に取り組み、それを自力でできるようにすることが求められる。この活動は、「Problem」の活動にも好ましい影響を与え得る。藤原(2012)や峰野(2017)

で示されているようにPPDACサイクルの2周目への移行を促したり、仮説検証を可能にしたりする。

レベル2-と2+を区別するのは、標本と母集団の関係に気づくことである。問いとして探究したい対象と調査可能なデータとの関係を検討すること、そしてそれらの関係を構築することは、統計的探究において重要である(大谷, 2017)。このことは、現在そして次期学習指導要領では中学校第3学年で形式的に指導することになっているが、新井(2009)で見られるように、より早期の段階でも非形式的に学習させることは可能である。藤原ら(2015)の調査は、標本と母集団の関係を公的に学習するより前に素朴に認識している学習者が一定数いることを示している。そのための活動をより早期の段階から取り入れることができれば、その学年段階については別途検討する必要があるが、「Plan」の活動レベルを引き上げられる可能性が示唆される。統計的探究は推測することであるから、より早期の段階で指導可能であると予想される。

標本抽出においては、それが母集団の縮図となるよう、無作為に抽出するだけでなく、標本のサイズをも考慮しなくてはならない。偏りと変動の両方の考慮が不可欠である。しかし、このことが指導されるはずの中学校第3学年では、無作為抽出に主要な焦点が向けられている(大谷2015)。先ほどと同様に、形式的に指導する必要はないにしても、より早期の学年段階で、その後の学年段階でどこまで目指すのかを検討することは重要である。

6. おわりに

本稿では、統計的探究能力の育成のための基礎的考察として、Wild & Pfannkuch(1999)の統計的探究プロセスのうち、統計に特徴的な「Problem」と「Plan」の相に焦点を当て、そのグラデーションを先行研究の知見に基づいて構築するとともに、我が国でこれまで取り組まれてきた個別の研究成果を分析し、それらの研究で記述されている学習者のパフォーマンスがどのように特徴づけられるのかを明らかにした。

先行研究の分析から得られる示唆として、「Problem」について、学習者が現実場面を統計的な問いへと定式化することができないこと、そのような活動に取り組む経験をほとんど与えられていないことなどが示唆される。調査が目的化し、問題定義の活動は明示的になされていない可能性がある。変数の検討という「Plan」との活動の往還は、問題定義や問いへの定式化を実現するためのアプローチの1つとなり得るが、統計的な問いを提起する活動がどの学年段階からどの程度可能かどうかを実際的に検討することは必要である。

「Plan」に関しては、標本と母集団の関係をいかにして取り扱うかを検討する必要性が示唆される。中学校第3学年以前でも非形式的に学習させることは可能であるから、どの学年段階でどこまで目指すのかを検討することが必要である。統計的探究は推測であるから、小学校段階でもある程度は指導可能である。

本稿では、統計的探究能力の発達過程を構築し明確にするために、主として理論的な側面から検討してきた。したがって、「Problem」と「Plan」の活動に関する様々な学年段階の学習者のパフォーマンスを特定するだけでなく、それらのグラデーションについて実際的な検討を重ね修正・洗練していくことは今後の課題である。また、PPDACサイクルの他の相に関しても同様にグラデーションの構築や先行研究の分析を行う必要もある。

謝辞

本研究の成果の一部は、JSPS 科研費 18H05751 の助成を受けて行われました。

附記

本稿は、全国数学教育学会第 48 回研究発表会で発表した内容に加筆・修正を加えたものである。

注

- 1) 我が国でも名称こそ出てこないが、次期学習指導要領に PPDAC サイクルが確かに位置づいている。
- 2) 新井 (2013), 橋本 (2013), 裕元・青木 (2011), 裕元・青木 (2017) は、PPDAC サイクルに沿った授業が構想されており、理想的な学習者の様相が記述されているが、本稿では実際の学習者のパフォーマンスを分析しているため、分析対象から除いている。また、福田 (2016) は、Fitzallen et al. (2015) の枠組みを用いながら統計的思考の進化を評価する方法を検討しているが、統計的探究それ自体に焦点を当てていないため、このような論文も同様に分析対象に含めていない。

文献

- 安藤之裕 (2012). 「第 3 章 企業における問題解決」. 渡辺美智子・椿広計 (編著). 『問題解決学としての統計学 すべての人に統計リテラシーを』 (pp.49-101). 日科技連.
- 青山和裕 (2009). 「これからの統計教育の方向性 (3): 統計的な探求プロセスをいかに授業の中で実現するか」. 日本科学教育学会『年会論文集』, 第 33 巻, pp.223-224.
- 青山和裕 (2014). 「資料の活用」領域における指導の充実に向けて: 探究プロセスに関するスパイラル指導と確立との関連付け」. 日本数学教育学会『数学教育』, 第 96 巻, 第 1 号, pp.43-46.
- 青山和裕・小野浩紀 (2016). 「多変数を扱う小学校算数での統計授業について: 統計的探究プロセスによる授業構想と多変数による授業の広がり」. 日本数学教育学会『算数教育』, 第 98 巻, 第 8 号, pp.3-10.
- 新井仁 (2009). 「資料の活用」領域における教材の開発に関する研究: PPDAC を重視した授業実践を通して」. 『数学教育論文発表会論文集』, 第 42 巻, pp.403-408.
- 新井健使 (2013). 「統計的思考力の育成に向けた教材開発: ポテトチップスのパッケージ開発を例として」. 日本数学教育学会『秋期研究大会発表集録』, 第 46 巻, pp.283-286.
- 藤原大樹 (2012). 「統計的問題解決仮定の主体的な進展を目指した「のの字テスト」の授業の試み」. 『数学教育論文発表会論文集』, 第 45 巻, pp.311-316.
- 藤原大樹・裕元新一郎・川上貴・細矢和博・塩澤友樹 (2015). 「中等教育段階における生徒の統計的思考力の現状と課題: PPDAC サイクルにおける「計画」の相に焦点をあてて」. 日本数学教育学会『数学教育』, 第 97 巻, 第 7 号, pp.2-12.
- 福田博人 (2016). 「統計的探究プロセスにおける思考の質的な深まりの評価方法の確立とその今日の有用性」. 日本数学教育学会『秋期研究大会発表集録』, 第 49 巻, pp.333-336.
- 橋本善貴 (2013). 「数学的リテラシー育成を目指した教授・学習のあり方に関する研究: 資料の活用領域に焦点を当てて」. 全国数学教育学会『数学教育学研究』, 第 19 巻, 第 2 号, pp.161-174.
- 垣花京子 (2013). 「不確実性事象に対する統計的思考育成のための教材研究: 「知の創造」を目指す統計的活動」. 日本数学教育学会『数学教育学論究』, 第 95 巻 (臨時増刊), pp.89-96.
- 裕元新一郎・青木浩幸 (2011). 「統計的思考力を育成する統計ソフトの開発に関する研究: 初等・中等教育における学校数学の立場から」. 『数学教育論文発表会論文集』, 第 44 巻, pp.849-854.
- 裕元新一郎・青木浩幸 (2017). 「統計的思考力を育成する統計ソフトの開発に関する研究 (2): 時代の要請に応じた新ソフトウェアの開発」. 日本数学教育学会『秋期研究大会発表集録』, 第 50 巻, pp.353-356.
- 裕元新一郎・中越進 (2015). 「児童の統計的思考力の様相に関する研究: データカードを活用した授業実践を通して」. 日本数学教育学会『秋期研究大会発表集録』, 第 48 巻, pp.315-318.
- 峰野宏祐 (2017). 「変数を生成・選択する活動を軸にした「桜の開花予想」の指導の再考」. 日本数学教育学会『数学教育』, 第 99 巻, 第 9 号, pp.3-11.
- 中隴友里 (2013). 「統計的思考力の育成を目指した問題解決型教材の実証研究: R コマンドを用いた箱ひげ図の比較を通して」. 日本数学教育学会『数学教育学論究』, 第 95 巻 (臨時増刊), pp.233-240.

- 奈須正裕 (2017).『資質・能力と学びのメカニズム』. 東洋館出版社.
- 西岡加名恵 (2014).「[逆向き設計]論に基づくカリキュラム改善」. 日本教育方法学会(編).『教育方法 43 授業研究と校内研修: 教師の成長と学校づくりのために』(pp.77-90). 図書文化社.
- 大岡敏幸 (2009).「小学校算数科における統計的思考の研究」.『数学教育論文発表会論文集』, 第 42 巻, pp.103-108.
- 大谷洋貴 (2015).「記述統計から推測統計への展開に関する課題と展望: 否定論を視点として」. 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第 21 巻, 第 1 号, pp.1-10.
- 大谷洋貴 (2017).「我が国における統計教育研究の傾向」. 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第 23 巻, 第 1 号, pp.33-44.
- 大谷洋貴 (2018).「統計的に推測する力を育む統計カリキュラムの設計枠組み: 方法論としてのカリキュラムマネジメントと逆向き設計論の検討を通して」, 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第 24 巻, 第 1 号, pp.47-59.
- 塩澤友樹・柁元新一郎・川上貴・藤原大樹・細矢和博 (2016).「中等教育段階における生徒の統計的思考力の現状と課題 (2): PPDAC サイクルにおける「分析」の相に焦点をあてて」. 日本数学教育学会『数学教育』, 第 98 巻, 第 9 号, pp.4-14.
- 田中紀子 (2013).「データの分析における思考力養成」. 日本数学教育学会『秋期研究大会発表集録』, 第 46 巻, pp.177-178.
- ウィギンズ, G.・マクタイ, J. (2012). 西岡加名恵 (訳).『理解をもたらすカリキュラム設計: 「逆向き設計」の理論と方法』. 日本標準.
- Chevallard, Y. (2015). Teaching mathematics in tomorrow's society: a case for an oncoming counterparadigm. In S. J. Cho (Ed.) *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematics Education* (pp.173-187). Springer.
- Fitzallen, N., Watson, J. & English, L. (2015). Assessing a statistical inquiry. In Beswick, K. et al. (Eds.). *Proceedings of 39th Psychology of Mathematics Education conference*, 2, 305-312.
- Franklin, C., Kader, G., Mewborn, D., Moreno, J., Peck, R., Perry, M. & Scheaffer, R. (2007). *Guidelines for assessment and instruction in statistics education (GAISE) project: A pre-k-12 curriculum framework*. [Online: http://www.amstat.org/asa/files/pdfs/GAISE/GAISEPreK-12_Full.pdf]
- Shaughnessy, M. (2007). Research on statistics learning and reasoning. In Lester, F. K. (Ed.), *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, vol.2 (pp.957-1009). Information Age Publisher.
- Wild, C. J. & Pfannkuch, M. (1999). Statistical thinking in empirical enquiry, *International Statistical Review*, 67 (3), 223-265.