

学位論文要旨

理科の仮説設定における学習者の実態と  
指導方略に関する研究

広島大学大学院教育学研究科  
教育学習科学専攻専攻 教科教育学分野  
自然システム教育学領域

D193335 中村 大輝

# 1. 論文構成

## 第1章 研究の背景と目的

- 第1節 科学教育の歴史の変遷
- 第2節 科学の方法としての仮説設定の価値
- 第3節 仮説設定に関する研究の現状と本研究の目的

## 第2章 先行研究のシステマティックレビュー

- 第1節 システマティックレビューの手続き
- 第2節 仮説設定に関する研究の動向

## 第3章 本研究のリサーチクエスションと論文の構成

- 第1節 本研究のリサーチクエスション (RQ)
- 第2節 本論文の構成と RQ の対応関係

## 第4章 仮説の概念に関する理論的検討

- 第1節 自然科学における仮説の歴史
- 第2節 理科教育における仮説の概念整理
- 第3節 本章のまとめ

## 第5章 仮説設定における学習者の思考過程

- 第1節 調査のデザイン
- 第2節 調査の結果
- 第3節 本章のまとめ

## 第6章 仮説設定における評価方法の検討

- 第1節 評価の構成要素
- 第2節 評価基準の作成
- 第3節 本章のまとめ

## 第7章 仮説設定の質に影響する要因の検討

- 第1節 調査のデザイン
- 第2節 調査の結果
- 第3節 本章のまとめ

## 第8章 仮説設定の指導方略の開発

- 第1節 仮説設定の指導方略の構築

第2節 効果検証のデザイン

第3節 実践1の結果

第4節 実践2の結果

第4節 本章のまとめ

## 第9章 研究の総括

第1節 本研究の成果

第2節 研究の限界と今後の課題

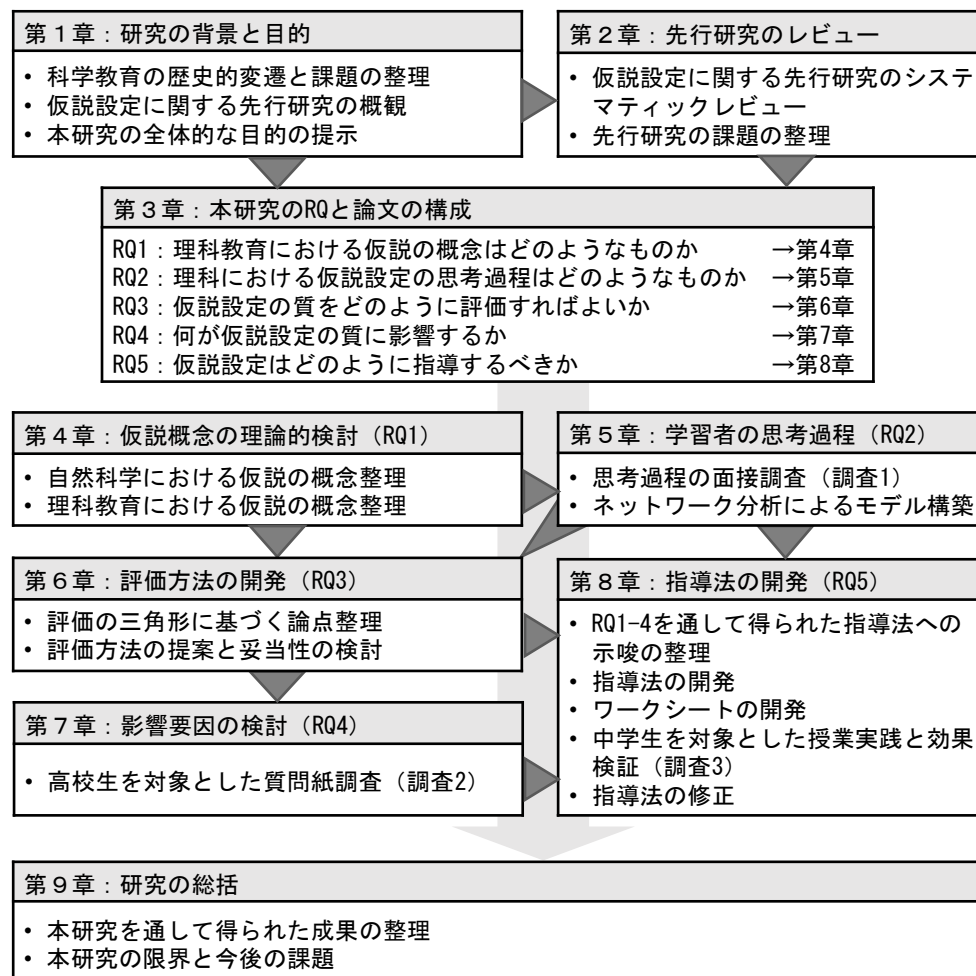


図1 本論文の構成と各章における検討課題

## II. 論文要旨

### 第1章 研究の背景と目的

現代社会における科学・技術の重要性の高まりと科学が関わる社会課題の増加を受けて、近年の科学教育では新たな社会に対応できる多様な科学的リテラシーの育成が目指されている (Valladares, 2021)。ここで多様な科学的リテラシーには、科学の内容的な理解 (Vision I) のみならず、科学と社会の関係の理解や市民としての意思決定の能力 (Vision II) といった幅広い力が含まれる (Roberts & Bybee, 2014)。このような多様な科学的リテラシーを育成するためには、従来の知識教授型の指導法では限界があることから、科学的探究を通じた指導法が志向されるようになりつつある (Riga et al., 2017)。科学的探究を通じた指導法とは、学習者が「観察、質問、仮説設定、調査計画、データ収集・分析・解釈、説明、予測、結果を伝える」といった科学実践に主体的に取り組むアプローチを指す (NRC, 1996)。実際、このような指導法は、多様な科学的リテラシーの育成に有効であることが報告されている (e.g., Schroeder et al., 2007)。

しかしながら、科学的探究に基づく指導法の研究内容には偏りがあり、特に、現象に対する問いや仮説を設定する場面の指導に関する研究は蓄積が乏しい (Oh, 2010; Park, 2006; Rachelson, 1977)。自然科学において仮説は、その後の実験方法や結果の予測を導くことから、重要な価値を持つものである (Hempel, 1966, pp. 12-13; Hepburn & Andersen, 2021)。学校における科学教育 (i.e., 理科教育) においてもその価値は同様であることに加え、学習者が仮説設定に取り組む中で多様な科学的リテラシーを獲得するという価値が指摘されている (Lawson, 2001; 中山, 2011)。このように、仮説設定は、科学的・教育学的な観点から重要な価値を持つものであり、その指導に関する研究の蓄積は、多様な科学的リテラシーを育成する科学教育の実現という現代的な課題の解決に貢献することが期待できる。

そこで、本研究では理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案することを目的として、理論的・実践的な研究を実施する。

## 第2章 先行研究のシステマティックレビュー

仮説設定に関する先行研究の成果と課題を明らかにするために、科学教育分野における国内外の主要誌を対象としたシステマティックレビューを実施した。キーワード検索とスクリーニングの手続きの結果、計28件の論文(和18件,英10件)が抽出された。その後、各論文のテーマを「仮説の定義」「思考過程」「評価方法」「指導」の4種類に分類し、テーマごとの成果と課題を整理した。

「仮説の定義」とは、仮説という概念の定義について言及したり、その用法や意味認識の実態について検討した研究が該当する(e.g., Wenham, 1993)。これまでの成果としては、教育関係者の間で仮説の定義が混乱している実態が指摘され、現代科学における仮説の定義が整理されてきた。一方で、仮説の定義に着目するばかりで、科学において仮説が果たす役割や理科教育における仮説の位置づけが整理されていないという課題が存在した。

「思考過程」とは、仮説設定の思考過程について検討した研究が該当する(e.g., Park, 2006)。これまでの成果としては、仮説を立てる際に使用される情報の種類や思考過程の理論モデルが示されてきた。一方で、情報をどのように用いて仮説を立てるかの実際の思考過程が明らかになっていないという課題が存在した。

「評価方法」とは、仮説設定に関する学習者のパフォーマンスの実態を評価したり、評価方法を開発・検討した研究が該当する(e.g., Quinn & George, 1975)。これまでの成果としては、学習者の仮説設定を評価する基準が複数提案されてきた。一方で、評価の妥当性や指導と評価を一体化させる方法が検討されていないという課題が存在した。

「指導」とは、仮説設定の指導において重要な要素や影響要因を検討したり、指導方法を開発し効果を検証した研究が該当する(e.g., Oh, 2010)。これまでの成果としては、仮説設定の指導法が複数提案されてきた。一方で、それぞれの指導法は、どのように機能するかメカニズムの説明や理論的基盤が不足しているという課題が存在した。

### 第3章 本研究のリサーチクエスションと論文の構成

前章のシステマティックレビューを通して明らかになった先行研究の課題に対応する形で、本研究のリサーチクエスション（RQ）を5つ設定した。

- RQ1：理科教育における仮説の概念はどのようなものか
- RQ2：理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか
- RQ3：仮説設定の質をどのように評価すればよいか
- RQ4：何が仮説設定の質に影響するか
- RQ5：仮説設定はどのように指導すべきか

本研究では5つのRQを順に検討するが、各RQは独立したものではなく、互いに関連している。RQ1を通して理科教育における仮説の概念が明確になることで、RQ2において検討すべき思考過程の範囲が定まる。また、RQ2を通して仮説設定の思考過程が明らかになることで、RQ3において評価の妥当性を検討することができる。RQ3を通して妥当性の高い評価方法が開発されることで、RQ4においてそれらの評価方法を用いた実証研究と影響要因の検討を行うことができる。RQ1~RQ4を通して、仮説設定における学習者の実態が明らかになることで、RQ5における学習者の実態を踏まえた指導法の開発が可能になる。これら5つのRQの検討を通して、本研究の全体的な目的である「理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案すること」の達成を目指す。

#### 第4章 仮説の概念に関する理論的検討

RQ1は、「理科教育における仮説の概念はどのようなものか」であった。RQ1を達成するために、科学哲学分野における知見を参照し、古典科学から近代科学にかけての自然科学における仮説の位置づけの変遷を整理した上で、理科教育における仮説の概念を整理した。

古典科学において確実な前提と考えられていた仮説は、近世自然科学以降は不確実な仮の命題だと考えられるようになる。一方で、その不確実性は、自然科学が目に見えない世界の説明を試みるようになる中で、法則からの演繹の限界を乗り越える上で重要な価値を持つとも考えられるようになった（小林, 1996）。近代自然科学以降は、非演繹的推論によって仮説を設定し、その仮説からの演繹的推論によって予測を導き、実験や観察結果との一致／不一致によって仮説の蓋然性を判断する仮説演繹法が確立し、現代の科学の方法のスタンダードになっている（Hepburn & Andersen, 2021; 森田, 2010）。ここで仮説とは、現象に内在する因果メカニズムの説明であり、独立変数への介入によって従属変数がどのように変化するかを示すものであった。

理科教育においても仮説の定義はほぼ同一であるが、説明の対象となる現象が教師から与えられる点に自然科学との違いがある。また、理科教育においても仮説（hypothesis）と予想・予測（prediction）は明確に区別されるものであり、それらを混同することは教育上の不利益を生じさせる可能性がある事を示した。

## 第5章 仮説設定における学習者の思考過程

RQ2は、「理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか」であった。RQ2に答えるために、大学生・大学院生16名を対象とした面接調査を実施し、得られた発話プロトコルを分析することで、仮説設定に共通した思考過程を検討した。その結果、仮説設定には共通して、A. 問題状況を理解し、B. 目標や方向性を確認する過程を経て、あるいは経由せずにC. 変数の同定へと移り、D. 因果関係の認識との行き来を繰り返した上で、F. 仮説を言葉で表現するという思考過程が存在することが示唆された(図2)。

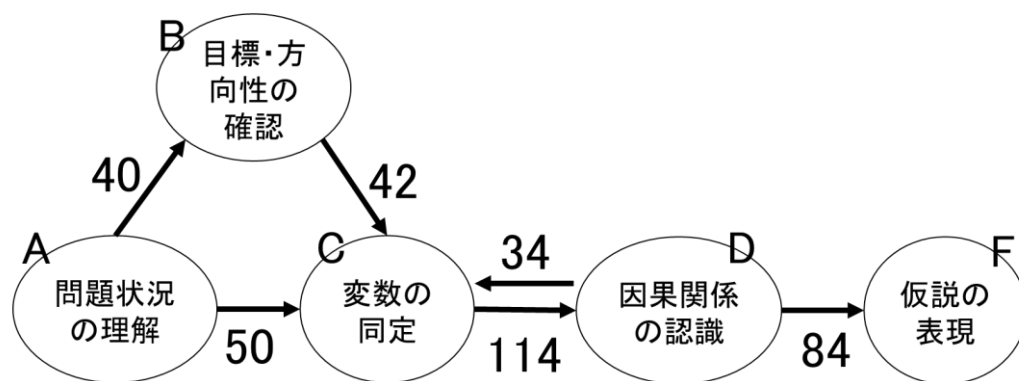


図2 仮説設定に共通した思考過程 (数字は推移回数合計)

これらの結果は、大学生・大学院生を対象とした限定的なサンプルに対して実施した調査に基づくものであり、得られた思考過程を直ちに小学生～高校生の思考過程に一般化できるものではない。しかしながら、初等中等教育において理科を学習してきた大学生がどのように仮説を立てるかの思考過程は、小学生～高校生が仮説を立てる際のロールモデルとして十分な価値があると考えられる。これらの過程を経て仮説を立てるという手順を学習者に明示的に示すことで、仮説設定の段階的な指導に役立つ可能性がある。また、仮説設定の思考過程に関する知見は、当該過程の評価方法の妥当性を検討する上でも有用だと考えられる。



## 第 6 章 仮説設定における評価方法の検討

RQ3 は、「仮説設定の質をどのように評価すればよいか」であった。RQ3 に答えるために、仮説設定を評価する際に重要な 3 つの要素について、評価の三角形 (NRC, 2001) の考え方にに基づき整理した。そして、仮説設定においてはその思考過程の中心的な過程である「変数の同定」と「因果関係の認識」の質を評価することが妥当であると判断した。また、2 つの過程において望ましい思考がどのようなものであるかを検討し、具体的な評価基準を作成した。作成した評価基準を使用し、第 7 章では実態調査を実施する。第 8 章では、これらの評価方法を用いた指導方略を提案する。

## 第 7 章 仮説設定の質に影響する要因の検討

RQ4 は、「何が仮説設定の質に影響するか」であった。RQ4 に答えるために、高校生 178 名を対象とした筆記調査を実施し、目標・方向性を確認することが仮説設定の質の向上に寄与するという研究仮説を検討した。その結果、仮説設定に先行して、何についてどのような方略で考えれば良いかの方略や自身の持っている知識で何が役立ちそうかの見通しを持たせることで、仮説設定の質が向上することが支持された。一連の知見を理科授業に還元するのであれば、仮説設定の指導においては、何についてどのような方略で考えればよいかの見通しをあらかじめ持たせることや、それらの見通しから外れることの無いようにメタ認知を働かせて自身の認知をモニタリング・コントロールすることを促す指導が重要だと考えられる。

## 第 8 章 仮説設定の指導方略の開発

RQ5 は、「仮説設定はどのように指導するべきか」であった。RQ5 に答えるために、RQ1～4 で得られた知見に基づき仮説設定の指導方略を構築し、中学生を対象とした 2 つの継続的な授業実践による効果検証を実施した。

提案する仮説設定の指導方略は、仮説設定を「変数の同定」と「因果関係の検討」の 2 段階に分割して指導するものである。変数の同定の段階では、条件が制御されていない複数事象を提示し、事象間で何が異なるかを比較させることで複数の変数を見出させる。比較という明示的な方略を与えることで、学習者が何を考えればよいかの方向性を明確にしている。また、複数事象の比較によって目の前の実験空間から網羅的に変数を見出させることで、長期記憶への依存の問題を軽減したり、1 つの変数にしか着目しない確認バイアスの問題を回避することができる。続く因果関係の検討の段階では、変数間の因果関係を整理したうえで、自身の仮説を文章化させる。その際、独立変数の変化に伴い従属変数がどう変化するかを整理する。

中学校第 2 学年「電流とその利用」の単元において、実験群と統制群を設定し、実験群 ( $n = 74$ ) では考案した指導方略に基づく授業を、統制群 ( $n = 76$ ) では従来通りの指導方略に基づく授業を実施した。授業終了後、群間で指導効果を比較した結果、実験群は統制群に比べて仮説設定の質が有意に高かった ( $t(118.66) = 10.75, p < .001, g = 1.74, 95\% \text{ CI } [1.36, 2.11]$ )。また、自由記述の結果からは、考案した指導方略が想定していた有効性を支持する感想が得られた。その後の継続的な実践においても、考案した指導方略が従来の方法と比べて仮説設定の質に対する高い効果を示していた。以上の結果から、新たに考案した仮説設定の指導方略の有効性を確認した。

## 第9章 研究の総括

本研究は、理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案することを目的としていた。研究の目的を達成するために、先行研究のシステマティックレビュー（第2章）を通して5つのリサーチクエスション（RQ）を設定し（第3章）、理論的・実証的研究を通してそれぞれの検討を行った（第4章～第8章）。各RQに対するリサーチアンサー（RA）と本研究の新規性を以下にまとめる。

### RQ1：理科教育における仮説の概念はどのようなものか（第4章）

RQ1 に対する RA1 は、「仮説演繹の枠組みにおいて仮説とは、教師によって示された現象に内在する因果メカニズムを説明するもの」とまとめることができる。

従来の研究では、仮説の定義を固定的なものとして扱っており、自然科学と学校科学における仮説の違いを議論してこなかった。これに対して本研究では、自然科学の歴史において仮説の定義や位置づけが変化してきたことを示したうえで、学校科学における仮説の位置づけを示した点に新規性がある。また、従来は教師が仮説と予想・予測を混同している原因を定義の理解不足に求めていたのに対して、本研究では両者を混同することで生じる教育学的問題点を示すことで解決を試みている点が従来のアプローチと大きく異なる。

### RQ2：理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか（第5章）

RQ2 に対する RA2 は、「仮説設定には共通して、A. 問題状況を理解し、B. 目標や方向性を確認する過程を経て、あるいは経由せずに C. 変数の同定へと移り、D. 因果関係の認識との行き来を繰り返した上で、F. 仮説を言葉で表現するという思考過程が存在する」とまとめることができる。

従来 of 思考過程に関する研究が、規則発見課題という実際の理科学習とはかけ離れた文脈で調査を行ってきたのに対して、本研究では理科学習に近い文脈で調査を行っている点が大きく異なる。また、分析の観点として、従来 of 研究では2種類の情報（短期記憶／長期記憶）のどちらを使用しているかを分析していたのに対して、本研究では2種類の情報をどのように利用して仮説を設定するかの詳細な推論過程や、思考過程を調整する高次認知の働きを思考過程のモデルに組み込んでいる点で、従来 of 研究よりも優れている。

### RQ3：仮説設定の質をどのように評価すればよいか（第6章）

RQ3 に対する RA3 は、「仮説設定の中心的な過程である「変数の同定」と「因果関係の認識」の論理性を評価することが望ましい」とまとめることができる。

このような評価論に基づき第6章で作成した評価基準は、自然科学における仮説概念に関する議論や面接調査で明らかになった学習者の思考過程を反映している点で、従来の評価方法よりも妥当性が高いと考えられる。この評価基準は、調査での測定の用途に加えて、授業時の形成的評価と個別支援に応用することが見込まれる。

### RQ4：何が仮説設定の質に影響するか（第7章）

RQ4 に対する RA4 は、「仮説設定に先行して、何についてどのような方略で考えれば良いかの方略や自身の持っている知識で何が役立つそうかの見通しを持つこと」とまとめることができる。

今回得られた知見は、理科学習におけるメタ認知の重要性を指摘した先行研究の知見を支持するものであり、仮説設定の質を向上させる指導の在り方に示唆を与えるものである。

### RQ5：仮説設定はどのように指導するべきか（第8章）

RQ5 に対する RA5 は、「条件が制御されていない複数事象を示し、事象間の違いを比較させて独立変数を見出すなど、仮説設定の方略の明示的な指導と、各過程を切り分けた段階的な指導を行うことが望ましい」とまとめることができる。

従来の仮説設定に関する指導法は、どのように仮説を立てればよいかの方法を学習者に示していなかったのに対して、本研究で提案する指導法は、学習者に明示的な方略を示している点で新規性がある。

## 成果の総括

RQ1~5の一連の検討を通して、本研究の全体的な目的である「理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案すること」を十分に達成できたと考える。学習者の実態としては、仮説設定の思考過程やその質に影響する要因が部分的に明らかになった。また、それらの知見に基づき提案した指導方略はその有効性が一定程度確認された。

一連の研究成果は、学術的な新規性に加えて、理科教育における仮説設定の指導

改善に貢献する価値を持つものでもある。長い間、理科授業においては学習者が仮説を設定する時間が確保されず、確保されたとしても自身の知識や経験に基づき仮説を立てることが求められるばかりで、どのように仮説を立てればよいかの指導はほとんど行われてこなかった。本研究を通して仮説設定の思考過程とそれに基づく段階的な指導方略が提案されたことで、教師は仮説の立て方を教えることが可能になり、学習者の科学的リテラシーの育成に資する理科教育の実現に貢献すると考えられる。

## 引用文献

- Hempel, C. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Hepburn, B. & Andersen, H. (2021). Scientific method. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/scientific-method/>
- 小林道夫 (1996) 『科学哲学』 産業図書.
- Lawson, A. E. (2001). Using the learning cycle to teach biology concepts and reasoning patterns. *Journal of Biology Education*, 35(4), 165–169. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655772>
- 森田邦久 (2010) 『理系人に役立つ科学哲学』 科学同人.
- 中山迅 (2011) 「問題解決と探究における科学的論述のあり方」 猿田祐嗣・中山迅 (編) 『思考と表現を一体化させる理科授業——自らの言葉で問いを設定して結論を導く子どもを育てる——』 東洋館出版社, 16–28.
- National Research Council. [NRC] (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- National Research Council. [NRC] (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. National Academies Press.
- Oh, P. S. (2010). How can teachers help students formulate scientific hypotheses? Some strategies found in abductive inquiry activities of earth science. *International Journal of Science Education*, 32(4), 541–560. <https://doi.org/10.1080/09500690903104457>
- Park, J. (2006). Modelling analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypotheses.

*International Journal of Science Education*, 28(5), 469–489. <https://doi.org/10.1080>

/09500690500404540

Quinn, M. E., & George, K. D. (1975). Teaching hypothesis formation. *Science Education*, 59(3), 289–296.

<https://doi.org/10.1002/sce.3730590303>

Rachelson, S. (1977). A question of balance: A wholistic view of scientific inquiry. *Science Education*, 61(1), 109–

117. <https://doi.org/10.1002/sce.3730610113>

Riga, F., Winterbottom, M., Harris, E., & Newby, L. (2017). Inquiry-based science education. In K.S. Taber, B.

Akpan (Eds.), *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. SensePublishers,

Rotterdam. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_19)

Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In N. G. Lederman

& S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (1st ed.). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9780203097267-38>

Schroeder, C. M., Scott, T. P., Tolson, H., Huang, T.-Y. & Lee, Y.-H. (2007). A meta-analysis of national research:

Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in*

*Science Teaching*, 44(10), 1436–1460. <https://doi.org/10.1002/tea>.

20212

Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation. *Science & Education*, 30(3), 557–587.

<https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>

Wenham, M. (1993). The nature and role of hypotheses in school investigations. *International Journal of Science*

*Education*, 15, 231–240. <https://doi.org/10.1080/0950069930150301>