

平成 26 年 5 月 4 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650511

研究課題名(和文) 大学入試科目「化学」における科学的能力の評価

研究課題名(英文) Evaluation of Science Ability in "Chemistry" at University Entrance Examination

研究代表者

古賀 信吉 (KOGA, NOBUYOSHI)

広島大学・教育学研究科(研究院)・教授

研究者番号：30240873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：中等科学教育において育成された広義の科学的能力を、大学入学試験等において評価する可能性を模索するため、「化学」を例として、入試問題の分析・評価、モデルパターンの抽出と分類、科学的能力の分類と評価内容の設定、入試問題の骨格構造モデルの開発、身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集、入試問題の試作、および模擬試験の実施とその結果の分析・評価の研究項目を段階的に推進した。一連の研究を通じて、筆記形式ならびにマークシート形式の問題により中等科学教育において育成されるべき科学的能力を評価できる一定の可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：For investigating the possibility to evaluate the science ability cultivated in secondary science education at university entrance examination, a series of studies on (1) analysis and evaluation of exam questions, (2) extraction and classification of model patterns, (3) classification of the science ability and evaluating factor, (4) development of framework structure models, (5) prospect of chemistry material and acquisition of fundamental data, (6) experimental production of exam questions, and (4) evaluation of the exam questions through practice exam was attempted as exemplified by the subject 'chemistry'. As the results, a measure of possibility to evaluate the science ability using writing and bubble sheet styles of exam was suggested.

研究分野：化学教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：科学教育 科学的能力 評価 高校化学 大学入試 探究学習

1. 研究開始当初の背景

知識基盤社会化やグローバル化に伴う人的資源に対する現代社会のニーズや国際学力調査などの結果を踏まえた我が国の児童生徒の学力の現況を背景として、理科についても小・中・高等学校を通じた学習指導の質的、量的、内容的、および方法論的な改善を目指した学習指導要領の改訂が行われた。その根本目標として、自然の事物・現象についての知識や理解を基盤とした科学的探究能力や科学的自然観などの広義の科学的能力の育成が求められている。これを受けて、小・中学校では理科学習指導の内容と方法についての教育実践的研究や、科学的能力の多面的評価方法についての検討が進められている。高等学校理科では、新指導要領において理科科目の新設や再編により、科学教育の今日的目標を達成するためのカリキュラム改革が行われた。一方で、大学進学のための学習指導に重点を置かざるおえない高校現場の実情もある。大学入試においても制度的に多様な入試形態がとられるようになり、多岐にわたる受験生の個性や能力の柔軟な評価が可能となつてはいるが、大部分の受験生は大学入試センター試験と各大学の個別学力試験の得点評価により大学進学を目指している。このような状況のなか、大学入試センター試験や各大学の個別学力試験は、マークシート方式あるいは筆記試験という試験形態による制約のなかでも、中等科学教育の根本目標に即して受験生の科学的能力を適正に評価できるものであることが望まれる。このような大学入試における問題内容の質的適正化は、実験・観察を主体とした多様な学習活動により活きた科学的知識と科学的能力を育成する魅力的な高等学校理科を実現し、現代社会における中等科学教育の根本目標を達成するための必要条件であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、大学入試理科各科目についての研究の初端として「化学」を取り上げ、中等科学教育の根本目標に即した広義の科学的能力を評価するための大学入試問題モデルの開発への取り組みを通じて、下記(1)~(4)についての具体的成果を得ることを目標とした。

- (1) 国内外の統一型大学入試問題における問題内容・構成の分析・評価と科学的能力を評価するためのモデルパターンの抽出・分類
- (2) 評価すべき科学的能力の分類と評価内容・項目の設定および入試問題の骨格構造モデルの開発
- (3) 科学的能力を評価する入試問題作成ための化学素材の探査と基礎的実験データの収集
- (4) 科学的能力評価のための入試問題の試作と模擬試験によるその実用性の検証

これらの成果を統合して、大学入試における科学的能力の評価の可能性を検証し、その具体的方策を例示する。また、一連の研究を通じて、理科各科目を対象とした研究展開のための方法論の確立を目指す。

3. 研究の方法

図1に、研究構想の概略図を示す。①入試問題の分析・評価、②モデルパターンの抽出と分類、③科学的能力の分類と評価内容の設定、④入試問題の骨格構造モデルの開発、⑤身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集、⑥入試問題の試作、および⑦模擬試験の実施とその結果の分析・評価の各研究項目を相互に関連させながら段階的に進展させる。

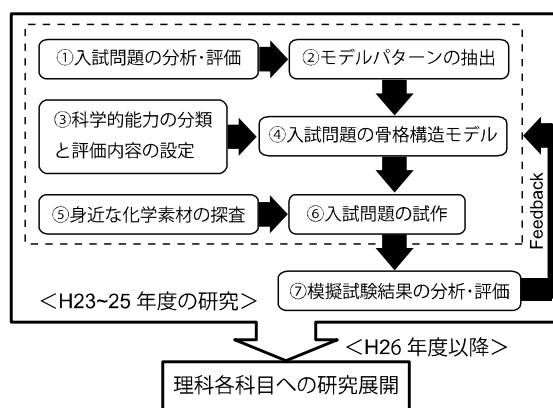


図1 研究構想の概略図

研究は、①入試問題の分析・評価、③身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集、⑤身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集の各研究項目から開始する。①および③の成果を受けて、②モデルパターンの抽出と分類および④入試問題の骨格構造モデルの開発に取り組む。これらの研究項目と⑤身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集を並列して展開することにより、科学的能力の評価問題作成のためのフレームワークと問題内容を構成する化学素材の両方を研究成果として得る。研究項目①~⑤の研究成果を基にして、⑥入試問題の試作に取り組み、作成した問題を用いた⑦模擬試験の実施とその結果の分析・評価を行う。さらに、⑦の結果を受け、研究項目①~⑥の再検討を行う。

4. 研究成果

中等科学教育において育成された広義の科学的能力を、大学入学試験等において評価する可能性を模索するため、「化学」を例として①入試問題の分析・評価、②モデルパターンの抽出と分類、③科学的能力の分類と評価内容の設定、④入試問題の骨格構造モデルの開発、⑤身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集、⑥入試問題の試作、および

⑦模擬試験の実施とその結果の分析・評価の研究項目を段階的に推進した。

(1)入試問題の分析・評価とモデルパターンの抽出： 研究項目①において、国内外の大学入試問題「化学」について、内容的および構造的観点から比較検討した。この成果を基に、「化学反応の基礎概念」、「無機化合物の性質と反応」、および「有機化合物の構造・性質と反応」に関する入試問題を例として、その構造的特徴と科学的能力の評価問題としての有用性の観点から調査し、②モデルパターンの抽出と分類を行った。

この結果、例えば、陽イオンの系統分離と定性、有機化合物の酸塩基抽出と定性、有機化合物の構造決定、状態変化、化学平衡、化学反応の速度などについての問題において、それぞれの内容に関する基礎的知識を複合的に活用し、さらに多様な科学的能力を駆使して解答を求める設問が多くみられた。一方で、これらの設問に用いられる化学素材や設問の内容については、定番化しているものもあり、単に化学素材や解法についての知識により正解を導くことができる可能性があることが危惧された。

(2)科学的能力の分類と評価内容の設定： 研究項目③において、科学的能力の育成を目的とした教育実践の事例を精査し、学習活動により育成を目指す科学的能力を基礎知識の応用、論理的思考、およびプロセススキル等の観点において種々の項目に分類した。また、高等学校化学において探究的な学習活動を取り入れた授業を実践し、事前および事後調査により、基礎知識の応用、論理的思考、およびプロセススキル等の観点から、育成される科学的能力の内容と項目を精査した。これらを基にして、大学入試において評価すべき科学的能力の内容と項目を整理するとともに、評価のための尺度を設定する可能性について検討した。

(3)入試問題の骨格モデルの開発： 基礎知識の応用、論理的思考、プロセススキルなどの科学的能力の評価問題の作成においては、設問自体に文脈を介した高度な論理性が求められる。問題作成プロセスの簡略化のためのツールとして④評価問題の骨格モデルの開発に取り組んだ。研究項目①および②により抽出した問題構造のモデルパターンと研究項目③で設定した評価内容と項目を関連付け、評価する科学的能力の内容および項目に応じた種々の問題パターンの骨格モデルを試作した。

(4)身近な化学素材の探査と基礎的実験データの収集： 研究項目①および②の結果としてみられたように、科学的能力を評価するための問題においては用いられる化学素材や設問内容が定番化している状況があり、中等化学教育において修得する基礎的知識を基にして科学的能力を問う問題を作成するためには、新たな化学素材の継続的な探査・発掘が不可欠である。このような観点から、

本研究期間の全般にわたり、研究項目⑤として「化学反応の基礎概念」、「環境化学の理解」、「無機化合物の性質と反応」、および「有機化合物の構造・性質と反応」をテーマとして、身近な素材の探査を行った。

この結果、これまでに探究的な学習のための教材として検討されてきた多くの化学実験教材において、科学的能力の種々の内容と項目を評価するための素材を見いだすことができた。さらに、本研究で新たな化学素材を発掘し、評価すべき科学的能力の内容と項目に対応した素材の網羅に努めた。これらの化学素材については、設問内容の化学的妥当性を評価するために専門的観点からの実験を通じた検討を行うとともに、評価問題に用いるデータの収集を行った。同時に、これらの化学素材については、中等化学教育における探究的な学習活動の素材としての活用も期待されたことから、実験教材の開発も合わせて行った。さらに、開発した実験教材を用いて高等学校化学において教育実践的研究を行い、科学的能力を育成するうえでの有効性を検証した。

(5)入試問題の試作： 研究項目①～④の成果として得た問題作成のためのフレームワークと研究項目⑤で発掘した化学素材を活用して科学的能力の評価を指向した筆記形式およびマークシート形式の⑥評価問題の試作を行った。試作した評価問題における問題文脈のテーマの主な例を挙げる。

- 洗剤成分の機能
- 洗剤中のアルカリ剤の組成
- 酸素系漂白剤の組成と化学的機能
- 緑青の成分元素と組成
- インジゴ染色の科学
- 酸塩基反応の温度滴定
- 炭酸水素ナトリウムの酸解離と中和
- 過酸化水素の分解反応のエネルギー図
- ヨウ素-デンプン反応の平衡定数
- 石灰水と二酸化炭素の反応
- 水蒸気混合気体の圧力の温度依存性
- 過酸化水素の分解反応の速さ
- 熱暴走反応
- 絵の具の金属イオン成分と定性分析
- ヒドロキシ酸の構造決定
- アルコール発酵のメカニズム
- 二酸化炭素吸収剤の化学
- フェントン反応と環境浄化
- 空気亜鉛電池の化学
- マンデル酸の光学分割
- その他

(6) 模擬試験の実施とその結果の分析・評価： 大学基礎化学の受講生および高校生を対象として、試作した問題を用いた模擬試験を実施した(研究項目⑦)。その結果の分析・評価により、筆記形式ならびにマークシート形式により中等化学教育において育成されるべき科学的能力を評価できる一定の可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

1. 中島 純平, 網本 貴一, 銅フタロシアンを含む青色顔料の分析と合成に関する実験教材, 化学と教育, 査読有, 2014, 62 (3), 142-145.
 2. N. Koga, Y. Goshi, M. Yoshikawa, T. Tatsuoka, Physico-Geometrical Kinetics of Solid-State Reactions in an Undergraduate Thermal Analysis Laboratory, J. Chem. Educ., 査読有, 2014, 91(2), 239-245. doi: 10.1021/ed400330t.
 3. Y.K. Hooi, M. Nakano, N. Koga, A Simple Oxygen Detector Using Zinc-Air Battery, J. Chem. Educ., 査読有, 2014, 91(2), 297-299. doi: 10.1021/ed400169z.
 4. T. Wada, N. Koga, Chemical Composition of Sodium Percarbonate: An Inquiry Based Laboratory Activity, J. Chem. Educ., 査読有, 2013, 90(8), 1048-1052. Doi. 10.1021/ed400077q.
 5. T. Tatsuoka, N. Koga, Energy Diagram for the Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxide, J. Chem. Educ., 査読有, 2013, 90(5), 633-636. doi:10.1021/ed400002t.
 6. N. Koga, K. Shigedomi, T. Kimura, T. Tatsuoka, S. Mishima, Neutralization and Acid Dissociation of Hydrogen Carbonate Ion: A Thermochemical Approach, J. Chem. Educ., 査読有, 2013, 90(5), 637-641. doi: 10.1021/ed300090g.
 7. 西口 博光, 網本 貴一, アルコール発酵の代謝過程を考察させる実験教材—アセトアルデヒドの確認と定量—, 化学と教育, 査読有, 2013, 61(3), 136-139.
 8. 網本 貴一, 中島純平, 金属イオンの反応性を理解させる実験素材としての色材の活用, 科学教育研究, 査読有, 2013, 37(1), 47-55.
 9. 西岡 佑麻, 網本 貴一, 古賀 信吉, L-アラニン分割剤としたマンデル酸の光学分割実験, 化学と教育, 査読有, 2012, 60(7), 320-323.
 10. N. Koga, T. Kimura, S. Shigedomi, Laboratory Inquiry for Determining Chemical Composition of Daily Use Detergent: Sodium Sesquicarbonate, J. Chem. Educ., 査読有, 2011, 88(9), 1309-1313. doi: 10.1021/ed1011212.
- [学会発表] (計 42 件)
1. 今仲 徹, 網本 貴一, ビウレット反応による銅(II)イオンの定量実験, 日本化学会第 94 春季年会(2014), 名古屋, 2014.3.28.
 2. 大村 寿, 網本 貴一, 糖類の学習と定量におけるグルコースメーターの利用,

日本化学会第 94 春季年会(2014), 名古屋, 2014.3.27.

3. 小笠原 陽華, 古賀 信吉, フェントン反応による汚染水浄化のモデル実験, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
4. 仲野 将慶, 田中 悠, Hooi Y.K., 古賀 信吉, 空気亜鉛電池(PR44)を用いた酸素の検出, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
5. 遠藤 大介, 網本 貴一, リンゴ酸を用いた有機化学反応の教材化, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
6. 長谷 清史, 網本 貴一, 有機反応を改良する視点を養う化学実験—芳香族化合物の酸化反応—, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
7. 伊勢 綾菜, 網本 貴一, ミオグロビンの機能と生命・食品との関連を探究させる化学実験, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
8. 中島 純平, 網本 貴一, ポルフィリンを素材とする化学実験教材の検討, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
9. 大村 寿, 網本 貴一, グルコースメーターを用いた糖類に関する実験教材—変旋光とその化学平衡, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.17.
10. 野田 裕祐, 古賀 信吉, 固体—気体間反応を素材とした熱量測定実験, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.16.
11. 北林 俊, 古賀 信吉, アルミニウムと塩酸の反応を例とした熱暴走反応のモデル実験, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.16.
12. 田中 宙斗, 木水 貴章, 蕨迫 竜太, 合志 友里, 古賀 信吉, ヨウ素-デンプン反応の熱化学教材, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.16.
13. 吉川 雅大, 古賀 信吉, 温度変調測定を用いた反応速度の実験教材, 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 東広島, 2013.11.16.
14. 遠藤 大介, 網本 貴一, 高等学校化学の知識・理解を総合的に活用するヒドロキシ酸の識別実験, 日本理科教育学会第 63 回全国大会 北海道大会, 札幌, 2013.8.11.
15. 遠藤 大介, 網本 貴一, 有機化合物の構造決定に関する化学実験教材: リンゴ酸, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 草津, 2013.3.23.
16. 西口 博光, 網本 貴一, 酸化還元指示薬を利用した簡便な酵素反応速度論実験, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 草津, 2013.3.23.
17. 西口 博光, 網本 貴一, 化学的手法を用

- いて酵母の呼吸様式を分析する実験教材, 日本生物教育学会第 94 回全国大会(広島大会), 東広島, 2013.1.13.
18. H.Y. Kin, 古賀 信吉, Application of zinc-air battery as oxygen detector in school laboratory experiments, 平成 24 年度日本理科教育学会中国支部大会, 岡山, 2012.12.8.
 19. 和田 健, 坂田 絵理, 古賀 信吉, 過炭酸ナトリウムの反応と教材への応用 —中学理科における活用を中心として—, 平成 24 年度日本理科教育学会中国支部大会, 岡山, 2012.12.8.
 20. 遠藤 大介, 網本 貴一, 有機化合物の構造決定に関する化学実験教材: グアヤコール, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.11.
 21. 合志 友里, 和田 健, 古賀 信吉, 非線形最小二乗法による最適化手法を用いた化学実験教材, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.11.
 22. 中島 純平, 網本 貴一, 色材としての銅フタロシアンを用いた金属錯体の理解につながる実験教材, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.10.
 23. 古賀 信吉, 身近な素材を活用した化学教材 —化学学習を支えるコンテキストと科学的能力の育成— (依頼講演), 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.10.
 24. 笠原 大輔, 古賀 信吉, 石灰水と二酸化炭素の反応教材についての再検討, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.10.
 25. 野田 裕祐, 古賀 信吉, 水酸化リチウム—水和物を用いた二酸化炭素吸収実験, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.10.
 26. 和田 健, 古賀 信吉, 酸素系漂白剤の雰囲気水蒸気による劣化, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.10.
 27. 小笠原 陽華, 古賀 信吉, 液性に依存した過酸化水素の反応の変化, 2012 年日本化学会西日本大会, 佐賀, 2012.11.10.
 28. 中島 純平, 網本 貴一, 金属イオンの反応性を理解させる実験素材としての色材の利用, 日本科学教育学会第 36 回年会, 東京, 2012.8.29.
 29. 和田 健, 古賀 信吉, 顆粒状過炭酸ナトリウムの熱分解挙動, 第 48 回熱測定討論会, 大阪, 2012. 8. 24.
 30. 古賀 信吉, 大学学生実験における熱分析を用いた固体熱分解反応の速度論解析, 第 48 回熱測定討論会, 大阪, 2012. 8. 22.
 31. 龍岡 寛幸, 重富 加奈, 岩崎 安希子, 櫻井 圭祐, 古賀 信吉, 既習事項を活用した高校化学の探究学習 (1)連続変化法による反応比の決定, 日本化学会第 92 春季年会(2012), 横浜市, 2012.3.26.
 32. 藤井 勝洋, 網本 貴一, 解熱鎮痛薬イブプロフェンを用いた実験教材の開発, 日本化学会第 92 春季年会(2012), 横浜市, 2012.3.26.
 33. 坂井 悠, 山田 秀人, 古賀 信吉, 玩具用カプセルを用いた分子模型の開発, 2011 年日本化学会西日本大会, 徳島市, 2011.11.13.
 34. 西口 博光, 網本 貴一, アルコール発酵の代謝過程と量的関係に関する実験教材, 2011 年日本化学会西日本大会, 徳島市, 2011.11.13.
 35. 井上 聡美, 網本 貴一, 中和滴定と粘度測定によるポリヒドロキシ酸とポリアミドの分子量決定, 2011 年日本化学会西日本大会, 徳島市, 2011.11.13.
 36. 合志 友里, 古賀 信吉, チオシアン酸鉄(III)イオンの錯形成平衡, 2011 年日本化学会西日本大会, 徳島市, 2011.11.13.
 37. 西岡 佑麻, 網本 貴一, 古賀 信吉, 2-フェノキシプロピオン酸を分割剤とするアラニンの簡便な光学分割実験, 2011 年日本化学会西日本大会, 徳島市, 2011.11.13.
 38. 笠原 大輔, 古賀 信吉, 環境学習での活用を目指したインジゴ染色実験の開発, 2011 年日本化学会西日本大会, 徳島市, 2011.11.12.
 39. S. Yamada, N. Koga, Introductory chemistry program including lab activity for non-science majors course in general education at university, The 4th NICE Symposium, Seoul(Korea), 2011. 7. 26.
 40. T. Tatsuoka, K. Ikeda, N. Koga, Chemical Thermodynamics in Daily-Use Cooling Pack, The 4th NICE Symposium, Seoul(Korea), 2011. 7. 26.
 41. N. Koga, T. Tatsuoka, S. Maruta, K. Sakurai, Redox Reactions between KMnO_4 (aq) and H_2O_2 (aq) -Extended Teaching Materials at High School-, The 4th NICE Symposium, Seoul(Korea), 2011. 7. 26.
 42. N. Koga, E. Tsukumo, T. Tatsuoka, S. Mishima, T. Kimura, K. Shigadomi, A. Iwasaki, T. Wada, Designing Chemistry Teaching Materials by Utilizing Household Detergents, The 4th NICE Symposium, Seoul(Korea), 2011. 7. 26.
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 古賀 信吉 (KOGA NOBUYOSHI)
 広島大学・大学院教育学研究科・教授
 研究者番号: 30240873
 (2) 研究分担者
 網本 貴一 (AMIMOTO KIICHI)
 広島大学・大学院教育学研究科・准教授
 研究者番号: 60294873