

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500860

研究課題名（和文） 生物教育内容のネットワーク型構造化による単元構想力と教材研究力の育成

研究課題名（英文） Upbringing of the ability to design a unit and to study the teaching materials by making the network type construction of the contents of biology education

研究代表者

渡邊 重義 (WATANABE SHIGEYOSHI)

熊本大学・教育学部・准教授

研究者番号：00230962

研究成果の概要（和文）：生物教育内容の現代化などの課題に対応するため、教育内容のネットワーク型構造化に関する基礎研究と実践研究を行った。基礎研究の結果、生物教育内容の構造化の観点として、①生物学的な系統性の具体化、②科学の方法による構造化、③観察実験の種類や方法に基づく構造化、④学習の文脈を抽出した。次に「光合成」を例にして①～④を反映したネットワーク型構造化モデルを作成し、教員養成や教員研修において活用することができた。

研究成果の概要（英文）：This study contains fundamental researches and practice about the network type construction of the contents of biology education to cope with problems such as the modernization of biology education. As a result of fundamental researches, I extracted some viewpoints for making the network type construction of the contents, ① Exhibiting the academic systematization of biology contents, ② Constructing by scientific methods, ③ Constructing based on the type and method of experiments, ④ Context of biology learning. Reflecting the viewpoints ①-④, the network type construction model is developed with "photosynthesis" as an example. This model could be utilized in practices of pre-service and in-service teacher training.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：総合領域

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：生物教育内容・カリキュラム・ネットワーク型構造化・単元構想・教材研究

### 1. 研究開始当初の背景

新学習指導要領（平成 20 年：小学校、中学校／平成 21 年：高等学校）が公示され、科学教育内容の一貫性を重視した内容構成の見直しが行われた。科学教育内容の一貫性・系統性は、「エネルギー」「粒子」「生

命」「地球」という科学の基本的な見方や概念を柱とした表で提示されたが、科学的な概念を核にした構造化は昭和 40 年代にも行われており、そこでは上位概念から下位概念、そして具体的な教育内容を結び付ける関係図が用いられた。生物分野の上位概念は「生

命」「進化」、その下位概念は「多様性と同一性」「生命の連続性」「エネルギー交代・物質交代」「構造と機能」であった。科学的な概念を取り入れた生物教育内容の構造化は、アメリカのBSCSプロジェクトが行ったものが基礎になっており、ここでは生物の分類群、生物界の構成レベル、教科書の共通テーマ（基本概念）を三つの軸とした三次元マトリックスで各教材の位置づけを示していた（梅埜 1996）。日本における生物教育カリキュラムの構造化に関する研究としては、プロセス・スキルからのアプローチ（森川 1973）、ミニマム・エッセンシャルズからのアプローチ（梅埜ら 1989）、問題解決能力の育成からのアプローチ（小林 1998）などがある。しかし、これらの研究は生物カリキュラムの提唱になっているものの、その意義が学校における授業実践でどのように実現されるのかという段階にまでは及んでいない。

研究代表者は、平成 17-18 年度科学研究費補助金基盤研究（C）「小・中学校の役割の見直しを含めた新しい自然科学教育課程の開発研究」（研究代表者：橋本健夫）の研究分担者として、科学教育カリキュラムに関するアンケート調査を小・中学校の教員に対して実施し、理科カリキュラムに関する諸要素に対して小学校教員と中学校理科教員に共通した見方と異なる見方があることなどを明らかにした。平成 19-21 年度科学研究費補助金基盤研究（C）「幼・小・中の連携で導く科学教育カリキュラム構築のための授業実践研究」（研究代表者：渡邊重義）では、幼稚園、小学校、中学校の保育、生活・理科授業の分析から、科学教育カリキュラムの連続性を保障する授業要素を導き出した。これらの一連の研究は、科学教育カリキュラムの実効性に影響する要因を実施者（教師）と実践（保育・授業）から明らかにしようとしたものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が行ってきた研究の成果を応用して、教師が学習の文脈づくりと知識の有機的な結び付き（ネットワーク化）を図るような教育内容の構造化を目指し、そのための単元構想力および教材研究力に関する研究を行う。ネットワーク化の必要性と方向性については、研究代表者がすでに提示している（渡邊 2006）。そして、近年、生命科学等の成果が生物教育カリキュラムに大きく影響している現状において、生物教育内容の構造化に関する基礎研究を行い、それを生かしたネットワーク型の構造化モデルを作成し、教育実践、教員養成、教員研修等で活用することを試みる。

## 3. 研究の方法

本研究では、主として中・高校の生物教育を対象にして、①教員の単元構想とそのため  
の教材研究に関する実態調査および事例研究、②海外の事例の調査等に基づく生物教育内容のネットワーク型構造化に関する理論研究、③日本の理科教育カリキュラムに適用可能な生物教育内容のネットワーク型構造化モデルの開発、④ネットワーク型構造化モデルを用いた生物教育の実践とその検証、⑤ネットワーク型構造化モデルの教員養成および教員研修への適用を行う。①と②は教育実践事例および文献などを用いた調査研究、③は①②の成果を用いた開発研究、④⑤は教育実践、教員養成、教員研修を行いながらの実践研究として実施する。

## 4. 研究成果

方法②③に関する結果を中心に報告する。  
(1) ネットワーク型構造化のための基礎研究  
—アメリカの高校生物教科書の調査  
Benchmarks for Science Literacy (1993) との対応等を分析した調査(AAAS 1999)で使用された9種類の高校生物教科書を参考にして、それらの最新版や後継の教科書を中心に合計9種類の教科書や教師用ガイドを分析に用いた(表)。

表 調査したアメリカの高校生物教科書

---

①Glencoe Biology (2009)
②Holt McDougal Biology (2010)
③Modern Biology (2009)
④BSCS Biology: An Ecological Approach (2006)
⑤BSCS Biology: A Human Approach (2006)
⑥BSCS Biology: A Molecular Approach (2006)
⑦Insights in Biology (2007)
⑧Biology: An Everyday Experience (2003)
⑨Biology: A Community Context (2003)

---

本研究で分析対象にした 2003~2010 年に出版された 9 種類の生物教科書には、次のような特徴がみられた。

### a. 探究中心 (Inquiry-based) の内容構成

調査した 9 種類の教科書は観察・実験を中心とした活動を重視し、探究的なアプローチを取り入れていた。具体的には、最初の章で科学の思考や方法を提示したり (①②③⑤⑥⑧：番号は該当する教科書の番号)、実験を探究学習あるいは誘導型の探究 (Guided Inquiry) として表記したり (①②③④⑥⑨)、探究プロセスや批判的思考に関連するスキルを具体的に提示したり (①②③) していた。

Benchmarks の「第 1 章 科学の特質」には「科学的探究 (Scientific Inquiry)」があり、NSES の「内容スタンダード」には「探究としての科学 (Science as Inquiry)」がある。⑤と⑦の教科書における定型化した学習

プロセスの繰り返しは、科学的な探究を重視するときの一つの方策と見なされる。一方、①②③の教科書は、観察・実験などの学習活動で探究に関連したスキルを表記する方法を用いていたが、このようなアプローチは日本の生物教科書でも導入可能ではないかと考えられる。

#### b. 観察・実験など活動の多様化

一般的な内容構成の①②③の教科書では、観察・実験が導入実験 (Launch Lab : ①)、簡易実験 (Mini Lab : ①/Quick Lab : ②③)、通常の観察・実験 (①②③)、データ分析演習 (Data Analysis : ①②)、探究のためのオプション (Options for Inquiry : ②) に細分化されていた。また、③の通常の実験 (Chapter Labs) は、探究実験 (Inquiry Labs)、調査実験 (Exploration Labs)、スキル習得実験 (Skill Practice Labs) に分けられていた。アメリカの生物教科書にみられた観察・実験の多様化には、それぞれの活動の目的が明確になるという効果が期待され、教育現場のニーズに応じた観察・実験を選択することで活動主体の生物学習を導くのではないかと考えられる。

#### c. 生物の分類群に基づく単元や章の設置

調査した9種類の教科書では、5種類の教科書で生物の分類群に基づく単元・章が設置されていた (①②③④⑧)。特に①②③は分類群に基づく章の教科書全体に占める割合が高く、ページ数で見ると① : 38.1%、② : 29.1%、③ : 41.6%になった。これらの教科書では、生物群間および生物群内の系統的な関係に関する説明を柱にして、形態、生殖 (生活史)、成長、代謝などを取り上げていた。主として他の単元で取り上げられている細胞、光合成、呼吸などは、具体的な生物群や種の説明中でも取り上げられていて、違うアプローチで同一の内容を重ねて学習するような構成になっていた。また、生物の分類に関する単元の直前に遺伝と進化に関する単元・章があり、進化に関する法則が生物の分類群ごとに具体化されるような展開になっていた。

#### d. ヒトに焦点を当てた内容の取り扱い

アメリカの生物教科書では、「ヒト」が単元や章の柱として位置づけられる場合が多く、①②③の教科書では「ヒトの体」あるいは「人間生物学」という単元があり、④⑤では「動物としてのヒト」と言うタイトルの章が設けられていた。⑦⑧⑨の教科書は、内容構成の柱に「ヒト」「人間生活」があるため、すべての単元でヒトとの関連づけが行われていた。また、7種類の教科書で、進化を扱った単元・章において霊長目からヒトへの進化が取り上げられていた (①②③④⑤⑥⑧)。ヒトの体についての学習内容は、器官系および生殖と成長が章などを構成する学習の単

位となり、それぞれにおいて分子、細胞、組織、器官、器官系、個体レベルの内容の取り扱いがあった。また、外皮系 : 火傷、骨格系 : 骨折、神経系 : 薬物の摂取、消化系 : 栄養学、免疫系 : 感染症、生殖 : 出生前診断など健康や病気と関連づけたアプローチが多く見られた。

#### e. 生物学に関連した職業、先端研究、社会問題の提示

生物学に関連した職業の紹介は、調査した9種類の教科書すべてで行われていて、学習内容に関連したコラムのような体裁で取り上げられることが多かった。特に①の教科書では、合計61種類の職業を紹介するだけでなく、「(仕事の)現場で (In the Field)」というページを設けて、野生生物保護生物学者、植物遺伝学者、遺伝子カウンセラー、犯罪科学昆虫学者等の活動の具体例を扱っていた。

#### f. インターネット教材とのリンク

調査に用いた9種類の教科書は日本の高校生物教科書に比べて大判でページ数が多く、カラフルな写真や図が多く用いられていた。そして、すべての教科書が情報提示の手段として、教科書中の適当な箇所インターネット教材とのリンクを提示していた。インターネット教材には、教科書の内容を補完するものと、関連した情報へと発展させるものがあつた。

### □構造化の視点と方法

#### a. 基本概念やテーマによる構造化

生物の基本概念は、単元や章の節のタイトルとして提示されるだけでは不十分であり、教科書の文脈や提示されている学習活動を通して理解につながるものである。しかし、概念形成を導くように学習を進めるためには、基本概念に焦点化するための工夫が必要になるであろう。①の教科書は、「変化」「多様性」「エネルギー」「恒常性」「科学的探究」を教科書全体に共通するテーマに掲げ、各章の最初のページで「ビックアイデア」を一つと、各節に対応した「メインアイデア」を提示していた。階層化された概念の提示は、基本概念を柱とした内容の構造化のための一つの方策と言える。教科書の単元や章の冒頭で学習目的となる概念が提示されていると、教科書の記載内容のポイントと学習内容の構造が理解しやすくなるのではないかと考えられる。②も各節の最初に「キーコンセプト」を一つと「メインアイデア」を複数提示して階層的にコンセプトを表していた。それらの上位概念となるコンセプトの提示がないので、生物の基本概念を形成するための方

策としては①の方がより適しているのではないかと考えられる。

#### b. 概念のリンクと構造化

学習内容の構造を示す一つの方法が、前述した階層的な基本概念の提示であった。もう一つの方法として、関係する概念と概念を線で結んだり、その関係を文や語句で説明したりするコンセプトマップの利用がある。②③⑥の教科書は、章末の振り返りで、学習者自身がコンセプトマップを作成する活動を提示していた。例えば、③の第21章「生態系」では、「気候に基づいてバイオームはどのように分類できるのかを示すために、下記の用語を用いたコンセプトマップを作成しなさい」という問いがあり、用語として「砂漠」「サバンナ」「気候」「乾燥(した)」「温帯性(の)」「熱帯性(の)」「雨が少ない」「草地」等の16語が提示されていた。このうちの8語は各節の最初に取り上げられている重要語と一致していた。6種類の教科書がコンセプトマップを導入していることから、コンセプトマップの作成が有効な学習方法と見なされていることが示唆される。教科書の本文に付記するタイプの学習内容のリンクには、学習事項を結び付けるだけでなく、②のように学習事項を学習者の生活に結び付けるものや、⑥のように「進化」「多様性と同一性」「構造と機能」などの基本概念がリンクの対象になっているものがあった。後者は、基本概念で学習事項を整理しようとする方策と見なされる。

学習内容の関連づけという点では、②と⑥の教科書に別の方策が見られる。②はConnecting Concept、⑥はConnectionsという内容のリンクのためのコーナーを設置し、教科書の内容に適宜挿入していた。

#### c. 探究スキルの具体化

探究スキルとは、いわゆる科学の方法に関連したプロセス・スキルに相当するものである。4種類の教科書(①②③⑧)は、観察・実験における分析や考察の場面、章・節ごとの目的を提示するページおよび評価問題などで、探究スキルを示す単語や語句を太字にして、文頭に提示していた。頻繁に取り上げられていた探究スキルの中で①と②に共通していたのは、「分析する」「推論する」「データをグラフ化する」であり、①では「振り返り(誤差分析)」「批判的に考える」「結果をまとめる」「比較・対照する」、②では「応用する」「予測する」「計算する」「実験計画を立てる」が重視されていた。①②の教科書で用いられている探究スキルの種類をみると、取り上げられている回数に偏りがあるので、

探究スキルの習得という観点から観察・実験の構造化が行われているとは考えられない。しかし、学習者が教科書に記載されている探究スキルを繰り返し目にすることで、観察・実験において結果を分析し、推論を伴う考察を行い、実験材料方法や結果をふり返ることが探究の基本的なプロセスであり、予測したり、批判的に考えたりすることが科学的な思考につながると意識されるのではないだろうか。

#### (2) ネットワーク型構造化のための基礎研究—アメリカの中学校理科教科書の調査

アメリカの中学校理科教科書については、高等学校生物教科書との比較のために、探究的スキルに関する調査結果を報告する。

アメリカ科学振興協会(2002)は、ミドルスクールで用いられている6種類の教科書についてBenchmarkとの対応等を分析している。それらの教科書の改訂版の中で日本と同様に物理、化学、生物、地学が融合した理科教科書であるHolt、Rinehart and Winston社のHolt Science & Technology Integrated Science(2008)を分析材料に用いて調査を行った結果、以下の事が明らかになった。生物領域では、①科学的な方法は、実験の結果やまとめ、学習の振り返りの批判的な思考において、スキルの種類がわかるように提示され、具体化されていた。②提示されていたスキルは、実験の場面で「結果の分析」:12種類、「結果のまとめ」:12種類、章末の復習において14種類、節末の復習において13種類であり、プロセス・スキルズと同様のカテゴリーを含んでいたが、概念の応用、コンセプトマップの作成等のスキルも提示されていた。生物領域において頻繁に取り上げられていたスキルは、「事象の記述」「データの考察」「情報の解釈」「結論の導出」「概念の応用」等であった。

#### (3) 生物教育内容のネットワーク型構造化モデルの開発

生物教育内容のネットワーク構造化モデルの作成に先行して、現行の学習指導要領における理科教育内容の関連図を作成した(下記ホームページ参照)。また、アメリカの中・高等学校の理科・生物教科書の調査結果を参考にして、①生物学的な系統性の具体化、②科学の方法による構造化、③観察実験の種類や方法に基づく構造化、④学習の文脈という構造化の視点と方法を抽出した。これら①～④の観点を取り入れた構造化のモデルを「光合成」を例にして図1～3に示す。

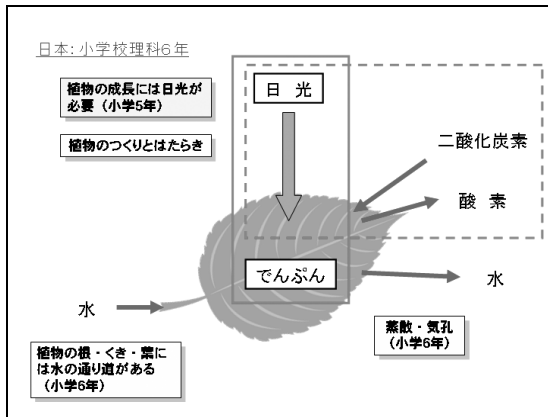


図1 小学校理科における光合成

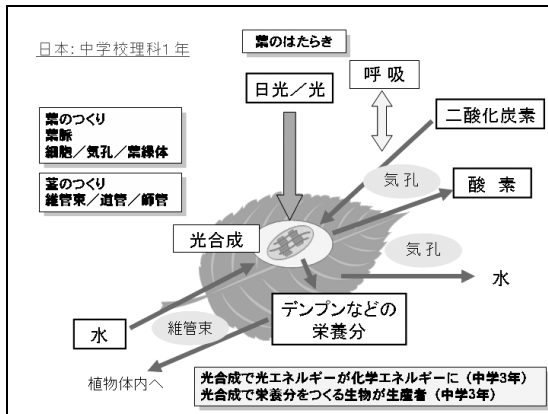


図2 中学校理科における光合成

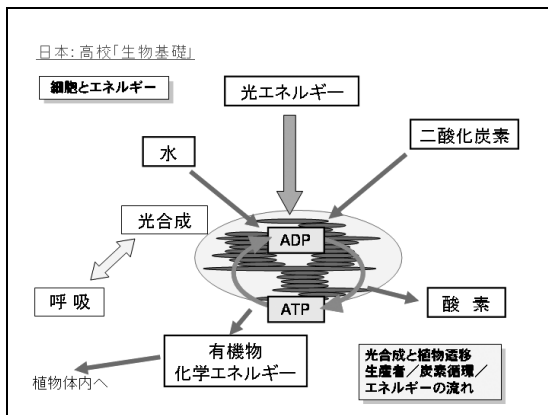


図3 高校生物基礎における光合成

それぞれの学校段階において、「光合成」が学習される枠組み、文脈、キーワード、基本概念との関連性などを文字、図、矢印で示している。この図をネットワーク型構造化のための基本図に位置づけ、他の生物教育内容との関連性を示す図を作成するのが今後の課題である。ネットワーク型構造化モデルの開発が十分に行えなかったため、単元構想や教育実践への応用は検証できなかったが、理科教育内容の関連図、生物教育内容の構造化モデルの一部は教員養成・教員研修における講義・演習で利用した。現在、生物教育内容のつながりに関する理解を深めるうえでの

効果を検証中である。

【文献】

AAAS (1993) Benchmarks for Science Literacy. New York: Oxford Press, pp. 9-13, 99-125, 127-149.

AAAS (1999) Project 2061-High School Biology Textbooks Evaluation. <http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/summary/criteria.htm>

梅埜國夫 (1996) 生物教育の現代化、教育出版センター、77-81、105-107

梅埜國夫ほか7名 (1989) ミニマム・エッセンシャルズの策定に基づいた高校「生物」教育課程試案、生物教育、29(1・2)、3-15

小林辰至 (1998) 科学的問題解決能力の育成を目的とした生物教育再構築に関する一考察、生物教育、39(1)、11-20

森川久雄 (1973) 理科教育要論、東洋館出版、118

NRC (1996) National Science Education Standard. The National Academies Press, p. 105. pp. 121-122, 143-148, 173-175, 181-187. [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=4962](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962)

渡邊重義 (2006) 学習指導要領から創造的な理科教育課程の構築へ、理科の教育、55(11)、15-18

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

- ① 渡邊重義、近年のアメリカの高校生物教科書の内容と教材構成の特色、理科教育学研究、査読有、53(3)、2013、535-545
- ② 渡邊重義、アメリカの中学校理科教科書における科学的な方法の取り扱いー生物領域を中心に、査読無、日本科学教育学会研究会研究報告、27(1)、2012、117-122
- ③ 永田昌大、渡邊重義、校庭の樹木を活用した探究学習のための教材化、査読無、日本科学教育学会研究会研究報告、27(1)、2012、33-38
- ③ 木村美貴、渡邊重義、熊本城公園の石垣に分布するシダ植物の調査と教材化、査読無、日本科学教育学会研究会研究報告、27(1)、2012、39-44
- ④ 渡邊重義、アメリカの高校生物教科書におけるデータ分析演習、査読無、日本科学教育学会研究会研究報告、26(2)、2011、27-32
- ⑤ 渡邊重義、探究学習としての維管束の観察ートルイジンブルー染色を利用した教材開発ー、査読有、生物教育、52(1・2)、2011、

1-12

- ⑥ 渡邊重義、アメリカの高校生物教科書における教育内容の構造化ーデータ分析と簡易実験に注目して、査読無、日本理科教育学会九州支部大会発表論文集、39、2011、79-82
- ⑦ 渡邊重義、授業分析で導く理科教育内容のリンク、査読無、日本科学教育学会年会論文集、34、2010、311-312
- ⑧ 福山隆雄、作野達哉、渡邊重義、エネルギーを主軸とした理科学習カリキュラムの系統化ー光電池を用いてー、査読無、愛媛大学教育学部紀要、57、2010、101-112

〔学会発表〕(計 12 件)

- ① 渡邊重義、生物教育内容を構造化する視点と方法、日本生物教育学会第 94 回全国大会、2013. 1. 12、広島大学 (東広島市)
- ② 山田真子、日詰雅博、渡邊重義、磯崎哲夫、小学校理科における植物の水の通り道に関する学習についての研究、日本生物教育学会第 94 回全国大会、2013. 1. 12、広島大学 (東広島市)
- ③ 渡邊重義、アメリカの中学校理科教科書における科学的な方法の取り扱いー生物領域を中心に、平成 24 年度第 1 回日本科学教育学会研究会、2012. 12. 1、宮崎大学 (宮崎市)
- ④ 永田昌大、渡邊重義、校庭の樹木を活用した探究学習のための教材化、平成 24 年度第 1 回日本科学教育学会研究会、2012. 12. 1、宮崎大学 (宮崎市)
- ⑤ 木村美貴、渡邊重義、熊本城公園の石垣に分布するシダ植物の調査と教材化、平成 24 年度第 1 回日本科学教育学会研究会、2012. 12. 1、宮崎大学 (宮崎市)
- ⑥ 渡邊重義、高校生物教育内容を構造化する視点と方法、日本生物教育学会第 92 回全国大会、2012. 1. 8、兵庫医療大学 (神戸市)
- ⑦ 山田真子、日詰雅博、渡邊重義、小学校理科における色水を使った植物の吸水実験の検討、2012. 1. 8、兵庫医療大学 (神戸市)
- ⑧ 渡邊重義、アメリカの高校生物教科書におけるデータ分析演習、平成 23 年度第 2 回日本科学教育学会研究会、2011. 11. 12、てだこホール (浦添市)
- ⑨ 渡邊重義、アメリカの高校生物教科書における観察実験の内容分析、日本理科教育学会第 61 回全国大会、2011. 8. 20、島根大学 (松江市)
- ⑩ 渡邊重義、アメリカの高校生物教科書における教育内容の構造化ーデータ分析と簡易実験に注目して、平成 23 年度日本理科教育学会九州支部大会、2011. 5. 28、佐賀大学 (佐賀市)
- ⑪ 渡邊重義、アメリカの高校生物教科書の教材構成と内容分析、日本生物教育学会第 90 回全国大会、2011. 1. 8、埼玉大学 (さいたま

市)

- ⑫ 渡邊重義、授業分析で導く理科教育内容のリンク、日本科学教育学会第 34 回年会広島大会、2010. 9. 11、広島大学 (東広島市)

〔その他〕

ホームページ等  
研究成果 (理科教育内容の関連図)  
<http://rika.educ.kumamoto-u.ac.jp/~watanabe/swlab/cos2008.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡邊 重義 (WATANABE SHIGEYOSHI)  
熊本大学・教育学部・准教授  
研究者番号：00230962

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし