

環境教育における地球システム科学教育の重要性： 大学生を対象とした講義の実践とアンケート調査からの示唆

泉 賢 太 郎^{*1,2,3}, 乾 睦 子^{*2}

Significance of Earth System Science education for improving environmental education : Insights from lecture and questionnaire for undergraduate students

Kentaro Izumi^{*1,2,3}, Mutsuko Inui^{*2}

Abstract: In this paper, to evaluate the significance of Earth System Science education for improving understanding of climate change (e.g., the global warming issue), questionnaire surveys were carried out before and after a lecture to undergraduate students. As a result, understanding regarding climate change was improved by the Earth System Scientific lecture explaining such as global carbon cycle, climatic observational data, paleoenvironmental dynamics and various proxy data. Furthermore, motivation for Earth System Science learning was also increased after the lecture. These results suggest that students can better consider specific mechanisms and/or future prospects of climate change by learning Earth System Scientific viewpoints. Therefore, the significance of adding Earth System Scientific contents to the current environmental education curriculum should be emphasized.

Key words: Earth System Science, environmental education, climate change, global warming, questionnaire survey

1. はじめに

近代社会における様々な人間活動の結果、二酸化炭素等の温室効果ガスの濃度が上昇し (Keeling, 1993), 地球温暖化に代表される様々な気候変動が昨今ますます深刻化してきている。それに伴い, 21世紀は「環境の世紀」とも称され (秦&松本, 2010), 各種気候変動への社会的関心が増加している。例えば, 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書においては, 温暖化は疑う余地がないとした上で, 人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主要要因であった可能性が極めて高い, と結論付けている (気象庁, 2013)。また, 地球温暖化の将来影響としては, 氷床量の減少, 生態系の変化, 水関連災害の増加, 海洋水塊構造や海洋循環の変化, などが挙げられている (川幡, 2011)。

このように, 人間活動が地球の気候システムに及ぼす影響に疑う余地がなくなってくるに従い, 環境教育の必要性が高まってきている (宮崎, 1998; 秦&松本, 2010; 鄭, 2010)。秦&松本 (2010) がまとめているよ

うに, 環境教育の目的を端的に述べると, 持続可能な社会を担い得る主体者を育成することに集約される。環境教育の最初のステップとして重要な項目は, 地球環境についての理解とその保全に必要な知識等を身に付けることである (秦&松本, 2010)。地球環境やその保全策に関する理解度は当然個人によって異なるが, 例えば小石 (2013) は大学生を対象としたアンケート調査を実施し, 講義 (文系理系共通教育科目) の実践によって理解度が向上することを示している。

一方で理解度の現状をみると, およそ40~80%程度の大学生が人為起源の温室効果ガスが温暖化の主要原因であることを認識しているものの (小石, 2013; 梶座&木津, 2015), 気候変動のメカニズム等の理解度が低かったことから, 既存の情報を無思考・無批判に受け入れているに過ぎないという可能性が指摘されている (梶座&田上, 2011; 梶座&木津, 2015)。地球システムは多種多様な影響力と時間スケールを持つ複数のサブシステムから構成され, 物質循環やエネルギー輸送を介して物理的・化学的・生物学的・地球科学的なプロセスが進行し, 各サブシステムどうしが密接に関連している (鳥海ほか, 2010; 川幡, 2011)。したがって, 地球温暖化やその将来影響についての理解度を深化させるためには,

*¹ 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター

*² 国士舘大学 理工学部

*³ 現所属: 千葉大学教育学部

「どのようなプロセスが」「どのようなメカニズムで」「どのような時間スケールで」進行するのか、ということを知ることが必要である。

特に地球システム科学は、しばしば長時間スケール(数十万年～数億年スケール)での気候変動や物質循環プロセスを考慮することが非常に重要になってくるといふ点において、他の学問体系とは異なるユニークな学問であると言える。例えば、長時間スケールで地球の気候変動を考えた場合には、新生代(過去約6500万年間)という時代を通じて、パルス的な急激な温暖化現象が複数回起こったものの、地球の気候は全体的には寒冷化してきたことが知られている(Zachos et al., 2001)。さらに、大気中の二酸化炭素分圧についても地球史を通じて大きく変化してきたことが知られており、現在の値は顕生代を通じて最低レベルである(Berner & Kothavala, 2001; Royer et al., 2001)。現在の社会問題になっている地球温暖化とは、直近の数百年スケールで観測した場合に初めて認識できるのだが、ここでの重要なポイントは、その異常な速度での温暖化速度に集約される(川幡, 2011)。すなわちこのようなポイントは、地球システム科学的な視点を持って初めて明らかになってくるのである。

以上のことをまとめると、秦&松本(2010)で提案されているように、地球システム科学的な立場に立脚した環境教育の重要性が改めて強調されるべきだと言える。

2. 地球システム科学に立脚した環境教育の重要性、および本研究の目的

IPCC第5次評価報告書では温暖化影響の将来予測として、主に今世紀末(2100年)時点における各種物理量の変化量を予測している。しかしながら、化石燃料の燃焼等によって大気中に大量に放出された二酸化炭素等の温室効果ガスの影響は、100年程度で減衰するのだろうか?この点を地球システム科学的に考察すると、以下のようになる。すなわち、大気中からの二酸化炭素の重要な除去プロセスを評価するためには、長時間スケール(数十万年スケール)での炭素循環に注目する必要がある。その際、ケイ酸塩鉱物の化学風化とそれに続く炭酸塩の沈殿、そして海洋で生成された有機炭素(生物の死骸等)の堆積物中への埋没、というプロセスが大気中二酸化炭素の除去プロセスとして特に重要である(Tajika & Matsui, 1992)。しかしこれらのプロセスが実際に効果を発揮するのは、数十年以上という非常に長い時間スケールである(鳥海ほか, 2010)。したがって、このような長時間スケールでの影響を予測する際には、長時間の環境変動を保存できる媒体(氷床コアや地層等)に記録された過去の地球温暖化現象に関する研究成果が重要な知見を与えてくれると期待できる。

地球システム科学に立脚した場合、現在進行している

人為起源二酸化炭素の大規模排出と比較可能な過去の事例として、大規模火山活動に伴う大気中への二酸化炭素排出イベントが挙げられる(ウイグナル, 2016)。特に中生代と呼ばれる時代には、1991年のピナツボ火山噴火の数十万倍程度とも推定される非常に大規模な火山活動が複数回起こったことが知られている(Takashima et al., 2006; ウイグナル, 2016)。例えばジュラ紀前期のトアルシアン期(約1億8300万年前)と呼ばれる時代に起こった大規模火山活動においては、約47万年間の火山活動で大気中に排出された二酸化炭素の総量は27,400 Gtに達したと見積もられている(Svensen et al., 2007, 2012)。したがってトアルシアン期には汎世界的な温暖化が起こり、それに伴い海洋貧酸素化や生物大量絶滅といった深刻な環境影響が現れたことが知られている(Hallam, 1986; Bailey et al., 2003; Courtillot & Renne, 2003; MacElwain et al., 2005; Wignall et al., 2005; Kemp & Izumi, 2014; Percival et al., 2015)。当時の大陸配置は現在と大きく異なる上に、地層などの地質記録から過去の温暖化速度を見積もる際には原理的な制約があるため(Kemp et al., 2015)、中生代の地球温暖化の影響の規模や時間スケールなどを現在の事象にそのまま外挿できるわけではない。それでもなお、中生代の大規模火山活動に伴う温暖化は、現在の温暖化と比較可能な数少ない事例であると考えられている(ウイグナル, 2016)。

これらのことから、「1. はじめに」でも述べた通り、地球システム科学に立脚した環境教育の重要性は改めて強調されるべきである。その具体的事例の提示を目的として、本学の学生を対象として地球システム科学の内容を盛り込んだ講義を実践し、地球温暖化やその将来影響についての理解向上に貢献したかどうかを調査したので、その成果を報告する。

3. 調査方法

2016年度(春期)の「環境科学A」の受講学生(全員が理工学部所属)を対象として、地球システム科学的な内容を盛り込んだ講義を実践し、講義前後における地球環境問題に関する理解度や学習意欲等の変化について、アンケート調査を実施した。本研究のための講義は2016年4月14日(木)の授業時間90分を用いて行い、受講学生へのアンケートは講義前(4月7日)及び講義後(4月14日の講義終了後)にそれぞれ実施した。

講義の全体的な流れとしては、以下のようになる。すなわち、まず初めに惑星としての地球の成り立ちや特異性について概説し、その後に地球システムのエネルギー収支や、温室効果ガスが地球の気候の安定化に果たす役割等について概説した。このように地球システム科学の基礎的な内容を解説した後に、地球温暖化に代表される昨今の気候変動の実情(観測データや将来予測)と、過

去の地球温暖化（中生代の大規模火山活動に起因する温暖化）の実例との比較研究などについて解説した。その際に、「時間スケールの階層性」が地球システム科学の重要なポイントであるので、各々のプロセスのメカニズムだけでなく、その時間スケールも強調するように心掛けた。具体的には、短時間スケールで進行する現在の地球温暖化、長時間スケール（数十万年スケール）での炭素循環、中生代の大規模火山活動に起因する地球温暖化の実例、中生代の地球温暖化に伴う環境変動の実態と環境回復の時間スケール、等について解説を行った。

アンケートにおいては、温暖化や気候変動の知識や関心の現状、温暖化対策に対する考え、及び講義前後の理解度や学習意欲の変化などについて質問した。本研究の目的に特に重要なアンケート項目については表1にまとめ、以下では表1の項目のアンケート調査結果について報告し、考察を行う。なお、アンケート結果の集計と解析の際には、全て同じ番号を回答しているような場合や、アンケート回答に自己矛盾がある場合などは無効回答として扱い、集計や解析には用いなかった。

4. アンケート結果

本研究によるアンケートの結果は、表1にまとめられている。講義前に実施したアンケートは50人から回収し、うち有効回答数は48であった。講義後に実施したアンケートは46人から回収し、うち有効回答数は44であった。有効回答44のうち、講義前アンケート回答者数は40であり、高い再回収率（91%）が達成された。講義の前後の理解度の変化を調査することが本研究の主要目的なので、講義後のアンケート結果の集計・解析の際には、講義前アンケート未回答者4人分の結果も含めて解析を行った。

4.1 講義前アンケート

温暖化問題に「とても関心がある」または「どちらかと言えば関心がある」と回答した学生は41人（87%）であり、地球温暖化問題に対して全体的に高い関心を持っていることが分かった（表1）。しかしながら、温暖化に関する自習の経験がある学生は12人（25%）にとどまり、36人の学生（75%）が温暖化に関する自習の経験はないと回答した（表1）。

温暖化の原因については、35人の学生（73%）が人為起源の二酸化炭素等の温室効果ガスの排出であると正しく認識してはいるものの、10人の学生（21%）が「温暖化は進行しているが原因は違う」を回答し、3人の学生（6%）が「そもそも温暖化は進行していない」を回答した（表1）。さらに、現在の二酸化炭素濃度については、地球史を通じて最低レベルだと正しく把握している学生は存在せず（0人）、その一方で19人の学生（40%）が「地球の歴史上、最高レベルである」を回答する

という結果になった（表1）。

温暖化の影響については、「そもそも温暖化は進行していない」と回答した3人の学生の回答を除いた45人分の学生のアンケート結果を解析した。その結果、多くの学術研究で温暖化との因果関係が示されている現象の中でも特に、氷床の融解（37人）・海水準の上昇（38人）・生態系の変化（33人）については、70%を超える高い正答率が得られた（表1）。温暖化の影響として洪水や干ばつ等の水関連災害の頻発、および台風の強化についても想定されているが（Bender et al., 2010; Hirabayashi et al., 2013）、これらの回答した学生はそれぞれ23人（51%）と11人（24%）であり、前述の3つの現象の正答率に比べてやや低かった（表1）。その一方で、火山噴火の頻発（2人）・地震の頻発（4人）・地球の膨張（4人）を回答した学生も存在し（表1）、温暖化などの気候変動のメカニズムを理解することなく、漠然と天変地異的なものとして捉えている学生もわずかだが存在することが示唆された。

地球温暖化を理解し、その将来影響を正しく評価・予測するためにどのような研究が重要であるかについてもアンケート項目を設けた。その結果、現在の気候の研究及びコンピューターシミュレーション等による近未来予測研究が「とても重要だと思う」または「どちらかと言えば重要だと思う」を回答した学生は、それぞれ46人（96%）及び44人（92%）と、非常に多かった（表1）。一方で、地層や岩石等の記録を用いて過去の地球温暖化時の影響を復元する研究（＝地球システム科学的なアプローチを駆使する研究）については、前述の2つの設問に比べて重要性の認識は低く、「どちらでもない」または「どちらかと言えば重要でない」を回答した学生が8人（17%）存在した（表1）。

4.2 講義後アンケート

地球科学（注：講義では時間の都合上、地球システム科学について詳しく解説することができなかった）、アンケートの中の設問では「地球科学」という単語を使用した）を学ぶことによって、地球温暖化について「より深く理解できる」または「どちらかと言えばより深く理解できる」ようになったと回答した学生は42人（95%）であり、「理解の程度は特に変わらない」と回答した学生数（2人）を大きく上回る結果となった（表1）。また、地球科学の学習意欲の変化については、講義内容を受けて「今後も学習したい」または「どちらかと言えば今後も学習したい」と思うようになったと回答した学生は37人（86%）であり、こちらについても同様に、「学習意欲は特に変わらない」と回答した学生数（7人）を大きく上回る結果になった（表1）。

表1 本研究で実施した主要アンケート項目、および集計結果

設問	選択肢	回答数	割合 (%)	備考
講義前アンケート 回収数: 50 有効回答数: 48 無効回答数: 2	地球温暖化について関心がありますか？ 1) とても関心がある 2) どちらかと言えば関心がある 3) どちらでもない 4) どちらかと言えば関心がない 5) 全く関心がない	3 38 6 0 0	6.3 79.2 12.5 0 0	未回答: 1
地球温暖化に関して、学校などの教育機関における学習とは別に、自分自身でさらに学習したり調べたりした経験はありますか？ 現在進行している地球温暖化の最大の原因は、化石燃料の燃焼等に伴う人為的な二酸化炭素濃度の増加だと考えられていますか、この学説についてどのように考えていますか？ 現在の地球の二酸化炭素濃度は、過去と比べてどの程度だったと考えられますか？	1) あり 2) 無し 1) 正しい 2) 温暖化は進行しているが原因は違う 3) そもそも温暖化は進行していない 1) 地球の歴史上、最高レベルである 2) 過去には二酸化炭素濃度が現在よりも高い時代も低い時代もあったが、現在のレベルはそれらの平均値程度である 3) 地球の歴史上、最低レベルである	12 36 35 10 3 19 29 0 37 38 23 11 2 4 33 4 0 0 3 25 21 2 0 0 20 24 4 0 0 16 24 7 1 0 40 4 15 27 2 0 0 15 22 0 0 15	25.0 75.0 72.9 20.8 6.3 39.6 60.4 0 77.1 79.2 47.9 22.9 4.2 8.3 68.8 8.3 0 0 6.3 52.1 43.8 4.2 0 0 41.7 50.0 8.3 0 0 33.3 50.0 14.6 2.1 0 90.9 9.1 34.1 61.4 4.5 0 0 34.1 50.0 15.9 0 0	1) あり 2) 無し 1) 正しい 2) 温暖化は進行しているが原因は違う 3) そもそも温暖化は進行していない 1) 地球の歴史上、最高レベルである 2) 過去には二酸化炭素濃度が現在よりも高い時代も低い時代もあったが、現在のレベルはそれらの平均値程度である 3) 地球の歴史上、最低レベルである 1) 氷床の融解 2) 海水準の上昇 3) 洪水や干ばつなどの水関連災害 4) 台風強化 5) 火山噴火の頻発 6) 地震の頻発 7) 生態系の変化 8) 地球の膨張 9) その他() 10) どれも起こらない 11) そもそも温暖化は進行していない 1) とても重要だと思う 2) どちらかと言えば重要だと思う 3) どちらでもない 4) どちらかと言えば重要でない 5) 全く重要でない 1) とても重要だと思う 2) どちらかと言えば重要だと思う 3) どちらでもない 4) どちらかと言えば重要でない 5) 全く重要でない 1) とても重要だと思う 2) どちらかと言えば重要だと思う 3) どちらでもない 4) どちらかと言えば重要でない 5) 全く重要でない 1) 回答した 2) 欠席などの理由で回答していない 1) より深く理解できる 2) どちらかと言えばより深く理解できる 3) 理解の程度は変わらない 4) どちらかと言えば理解を阻害する 5) 理解を阻害する 1) 今後も学習したい 2) どちらかと言えば今後も学習したい 3) 学習意欲は特に変わらない 4) どちらかと言えば今は学習したくない 5) 今後は学習したくない
講義後アンケート 回収数: 46 有効回答数: 44 無効回答数: 2	先週実施したアンケートに回答しましたか？ 今回の講義内容を受けて、地球科学を学ぶことによって、地球温暖化の理解にどのような影響を与えようかと思いましたが、今回の講義を受講する前と比べてどう思うようになったか、ということをご記入ください。 今回の講義内容を受けて、地球科学の学習意欲についてどのようになっているか、今回の講義を受講する前と比べてどう思うようになったか、ということをご記入ください。	40 4 15 27 2 0 0 15 22 0 0 15	90.9 9.1 34.1 61.4 4.5 0 0 34.1 50.0 15.9 0 0	

5. 考 察

アンケートの結果、国士館大学理工学部の学生は、地球温暖化問題に代表される気候変動に対して関心を持っている学生の割合が多い(87%)ことが分かった(表1)。また、人為的に排出された二酸化炭素に代表される温室効果ガスが温暖化の主要因であると正しく把握している学生は、73%であった(表1)。この値を他の大学でのアンケート調査における正答率(約40~80%;小石, 2013; 梶座&木津, 2015)と比較すると、その範囲内に収まる。各々の先行研究で実施されたアンケートの設問文や回答項目が異なるために一概に比較することは難しいが、本研究で得られた国士館大学理工学部生の正答率はスタンダードなレベルであると考えられる。

一方で、現在進行中の温暖化の主要因とされている温室効果ガスの中でも代表的な二酸化炭素に関して、大気中の二酸化炭素分圧の地球史を通じた変動を正しく把握している学生は存在しなかった(表1)。また、現在の大気中の二酸化炭素分圧が「地球の歴史上、最高レベルである」と誤って認識していた学生が40%に上ることから(表1)、大学入学以前の環境教育の現場において、数十万年~数億年といった長時間スケールの現象を取り扱う地球システム科学的な内容がほとんど(あるいは全く)取り扱われていないという現状が想定される。そのため、地層や岩石等の記録を用いて過去の地球温暖化時の影響を復元する研究の重要性を認識する学生の割合が少なかったのであろう(表1)。反対に、多くの環境教育(あるいはメディアや報道)において、産業革命以降(数百年スケール)における二酸化炭素分圧や地球平均気温の変化のみを強調するような傾向があるものと思われる。このような風潮の結果、古気候研究に比べて観測や数値シミュレーションに基づく将来予測研究の重要性を強く意識する学生の割合が多かったのであろう(表1)。梶座&田上(2011)が指摘しているように、昨今の大学生は既存の情報を無思考・無批判に受け入れる傾向が強い。さらに本研究のアンケート調査の結果、温暖化に関して自習をした経験がある学生が少ない(25%)ということが分かったので、気候変動の歴史やメカニズム等を考えることなく、大学入学以前に行われた環境教育の要点のみを丸暗記的に受け入れている大学生が多いという事実は、日本全国で普遍的な現象であると思われる。温暖化の影響として、火山噴火や地震の頻発、地球の膨張といった何ら因果関係のない現象を回答する学生が存在したという事実(表1)も、気候変動のメカニズムを考察せずに、気候変動を漠然とした天変地異的なものとして受け止める傾向があることを示唆している。

このような現状を改善するためには、短時間スケールでの地球環境の変化のみを強調する傾向の強い既存の体系の環境教育に、数十万年~数億年といった長時間スケ

ールの現象を取り扱う地球システム科学的な内容を盛り込むことが必要不可欠である。実際に、地球システム科学に立脚した講義を行うことによって、地球環境問題に関する学生の理解度が向上し、さらには学習意欲も向上したことがアンケート結果からも示された(表1)。西村ほか(1994)によって指摘されているように、温暖化問題を含む地球環境問題のメカニズムの解明や将来予測、対応策の考案に当たっては、地球システム科学の貢献が大いに期待される。したがって、地球システム科学に立脚した環境教育が日本全国に浸透し、継続的に行われることで、高い環境リテラシーを備えた人材を育成することができると考えられる。

6. まとめと今後の展望

本学理工学部の学生を対象に、温暖化に代表される地球環境問題に関する関心度と理解の現状を調査した上で、地球システム科学に立脚した講義を実践し、理解度や学習意欲の変化を調べた。その結果、地球温暖化問題を本質的に理解するためには、地球システム科学的な内容を盛り込んだ環境教育の実践が非常に重要かつ効果的であるということが、改めて実証された。地球システム科学においては、長時間スケール(数十万年~数億年スケール)での気候変動や物質循環プロセスや、それらの因果関係を考慮することが非常に重要である。したがって、学生が地球システム科学的な素養を身に付けることで、各種環境問題どうしの因果関係や温暖化の将来影響について短絡的ではなく、長期的なスケールで科学的に考察することが可能になるとと思われる。このことは正に、高い環境リテラシーを備えた人材の育成に直結するであろう。最後に、本研究をきっかけとして、地球システム科学に立脚した環境教育が今後ますます浸透していくことを切に願う。

謝 辞

本研究のアンケート調査にご協力いただいた学生諸君に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- Bailey, T.R., Rosenthal, Y., McArthur, J.M., van de Schootbrugge, B., Thirlwall, M.F., 2003. Paleooceanographic changes of the Late Pliensbachian-Early Toarcian interval: a possible link to the genesis of an Oceanic Anoxic Event. *Earth and Planetary Science Letters* 212, 307-320.
- Bender, M.A., Knutson, T.R., Tuleya, R.E., Sirutis, J.J., Vecchi, G.A., Garner, S.T., Held, I.M., 2010. Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. *Science* 327, 454-458.
- Berner, R.A., Kothavala, Z., 2001. GEOCARB III: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal of Science* 301, 182-204.
- Courtillot, V.E., Renne, P.R., 2003. On the ages of flood basalt

- events. *Comptes Rendus Geoscience* 335, 113-140.
- Hallam, A., 1986. The Pliensbachian and Tithonian extinction events. *Nature* 319, 765-768.
- 秦明德, 松本一郎, 2010. 地球システム論に立脚した環境教育. 教育臨床総合研究 9, 101-109.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., Kanae, S., 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change* 3, 816-821.
- 鄭允貞, 2010. 学校理科教育の内容開発－日韓米の地球温暖化教育(環境教育)を中心に－. 東京大学大学院教育学研究科紀要 50, 211-220.
- 柗座圭太郎, 木津大哉, 2015. 地球温暖化論争についての学校教育と科学リテラシーの関係. 人間発達科学部紀要 10, 129-143.
- 柗座圭太郎, 田上翔子, 2011. 学校教育が地球温暖化と原発についての思考停止社会をもたらしたのか? 人間発達科学部紀要 6, 107-133.
- 川幡穂高, 2011. 地球表層環境の進化－先カンブリア時代から近未来まで. 東京大学出版会, 292 pp.
- Keeling, C.D., 1993. Global observation of atmospheric CO₂. In Heimann, M. (ed.), *The Global Carbon Cycle*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1-29.
- Kemp, D.B., Izumi, K., 2014. Multiproxy geochemical analysis of a Panthalassic margin record of the early Toarcian oceanic anoxic event (Toyora area, Japan). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 414, 332-341.
- Kemp, D.B., Eichenseer, K., Kiessling, W., 2015. Maximum rates of climate change are systematically underestimated in the geological record. *Nature Communications* 6 : 8890. DOI : 10.1038/ncomms9890.
- 気象庁, 2013. 気候変動 2013 : 自然科学的根拠. 気候変動に関する政府間パネル第5次報告書第1作業部会報告書. 政策決定者向け要約.
- 小石和成, 2013. 地球温暖化問題への大学生の知識と意識に関するアンケート調査の報告. 京都大学防災研究所年報 56, 539-544.
- McElwain, J.C., Wade-Murphy, J., Hesselbo, S.P., 2005. Changes in carbon dioxide during an oceanic anoxic event linked to intrusion into Gondwana coals. *Nature* 435, 479-482.
- 西村昭, 川幡穂高, 中尾征三, 1994. 地球環境と炭素循環－地質学は地球温暖化問題に貢献できるか－. *地質学雑誌* 100, 409-416.
- 宮崎正勝, 1998. 環境教育の深化とエコロジカル・リテラシーの育成. *環境教育研究* 1, 13-21.
- Percival, L.M.E., Witt, M.L.I., Mather, T.A., Hermoso, M., Jenkyns, H.C., Hesselbo, S.P., Al-Suwaidi, A.H., Storm, M.S., Xu, W., Ruhl, M., 2015. Globally enhanced mercury deposition during the end-Pliensbachian extinction and Toarcian OAE : A link to the Karoo-Ferrar Large Igneous Province. *Earth and Planetary Science Letters* 428, 267-280.
- Royer, D.L., Berner, R.A., Beerling, D.J., 2001. Phanerozoic atmospheric CO₂ change : evaluating geochemical and paleobiological approaches. *Earth-Science Reviews* 54, 349-392.
- Svensen, H., Planke, S., Chevillier, L., Malthe-Sørensen, A., Corfu, F., Jamtveit, B., 2007. Hydrothermal venting of greenhouse gases triggering Early Jurassic global warming. *Earth and Planetary Science Letters* 256, 554-566.
- Svensen, H., Corfu, F., Polteau, S., Hammer, Ø., Planke, S., 2012. Rapid magma emplacement in the Karoo Large Igneous Province. *Earth and Planetary Science Letters* 325-326, 1-9.
- Tajika, E., Matsui, T., 1992. Evolution of terrestrial proto-CO₂ atmosphere coupled with thermal history of the earth. *Earth and Planetary Science Letters* 113, 251-266.
- Takashima, R., Nishi, H., Huber, B.T., Leckie, R.M., 2006. Greenhouse world and the Mesozoic ocean. *Oceanography* 19, 64-74.
- 鳥海光弘, 田近英一, 吉田茂生, 住明正, 和田英太郎, 大河内直彦, 松井孝典, 2010. 地球システム科学 (新装版 地球惑星科学 2). 岩波書店, 220 pp.
- ウィグナル ポール B., 2016. 大量絶滅時代とパンゲア超大陸 : 絶滅と進化の8000万年. 原書房, 252 pp.
- Wignall, P.B., Newton, R.J., Little, C.T.S., 2005. The timing of paleoenvironmental change and cause-and-effect relationships during the Early Jurassic mass extinction in Europe. *American Journal of Science* 305, 1014-1032.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292, 686-693.