

地球温暖化問題懐疑論 へのコメント Ver. 3.0

2009年5月21日

(<http://www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/>)

東北大学	明日香壽川
気象研究所	吉村純
海洋研究開発機構	増田耕一
海洋研究開発機構	河宮未知生
国立環境研究所	江守正多
国立環境研究所	野沢徹
国立環境研究所	高橋潔
海洋研究開発機構	伊勢武史
国立極地研究所	川村賢二
東京大学	山本政一郎

Our mission

人為起源の二酸化炭素排出を主な原因として地球規模で気候が温暖化するという、いわゆる人為的地球温暖化説の信憑性や地球温暖化による被害を緩和するための対策の重要性に対し、懐疑的あるいは否定的な見解をとる議論が日本国内でも存在している。社会からの信頼にその活動基盤を置く科学者コミュニティは、こうした現状を座視すべきではないと考える。したがって、本稿ではこれらの議論から主な論点を拾い上げ、一方的な、あるいは間違った認識に基づくものに対して具体的な反論を行う。

Our mission

目次

はじめに

本稿の目的

他の参考資料

第1章 温暖化問題における「合意」

議論 1. 科学者間に合意はない

第2章 温暖化問題に関するマスコミ報道

議論 2. マスコミは両論併記すべき

第3章 温暖化問題の科学的基礎

3.1. 過去および現在の観測データに関する議論

議論 3. 温度観測データへの疑問

議論 4. 衛星による温度観測データの矛盾

議論 5. 2001 年以降気温上昇は停止

議論 6. ホッケー・スティックの図は間違い

3.2. 過去および現在の気候変化の原因に関する議論

議論 7. 二酸化炭素濃度上昇と温度変化の傾向が異なっている

議論 8. 最近の温暖化は太陽活動の影響

議論 9. 過去約 100 年間の温暖化は異常ではない

議論 10. 最近の温暖化は自然変動

議論 11. 温室効果ガス以外に大きな原因あり

議論 12. 大気汚染が温暖化の原因

3.3. 炭素循環に関する議論

議論 13. 気温上昇が二酸化炭素濃度上昇の原因

議論 14. 海洋から二酸化炭素が大量に放出

議論 15. 大気と生態系・海洋との二酸化炭素交換量に比べて人為排出は小さい

議論 16. 炭素循環の推定量が間違っている

議論 17. 人為的排出二酸化炭素の大気中滞留時間は短い

議論 18. 森林による二酸化炭素吸収はない

議論 19. 森林火災のため地球全体では二酸化炭素は吸収しきれない

議論 20. 「森林が二酸化炭素を吸収する」という発想は見当はずれ

3.4. 温室効果強化に対する気候システムの応答に関する議論

議論 21. 観測から推定される気候感度は小さい

3.5. 地球大気の構造・光学特性に関する議論

議論 22. 地上温度は平均地上気圧で決まる

議論 23. 平衡モデルが間違い

目次

- 議論 24. 二酸化炭素温暖化説は対流に対する考慮がない
- 議論 25. 二酸化炭素の効果は水蒸気の効果に比べて小さい
- 議論 26. 二酸化炭素による赤外線吸収はすでに飽和している

3.6. 海水準変化に関する議論

- 議論 27. ツバルでは海面上昇が起きていない
- 議論 28. 極地の氷の融解による海面上昇はない

第4章 温暖化対策の優先順位

- 議論 29. 気候変動の優先順位は低い（コペンハーゲン・コンセンサス）
- 議論 30. 温暖化した方がよい（寒冷化の方が問題）
- 議論 31. 閉山した炭坑は回復できない
- 議論 32. 長期的な削減方式、短期・中期的な適応方式が現実的
- 議論 33. 温暖化問題とエネルギー問題とのデカップリングが必要

第5章 京都議定書の評価

- 議論 34. 京都議定書は日本にとって不公平
- 議論 35. 京都議定書を守っても温暖化対策の効果なし

最後に

謝辞

参考文献

はじめに

本稿の目的

地球温暖化問題（以下では温暖化問題）に関しては、多くの不確実性が残っている。しかし、温暖化の人為的要因や対策の必要性に関して、これまでの知見や実状を無視するかのような議論も散見される。したがって、様々な論点を整理し、新たな知見や現在の状況などを紹介することによって、温暖化問題に関する建設的な議論を推進することの重要性は高いと思われる。

そのため、本稿では、現在起きている温暖化の要因を、産業革命以降の人為的な二酸化炭素の排出を主な要因とする考え方（以下では、「人為的排出二酸化炭素温暖化説」と呼ぶ）や温暖化対策の重要性などに対して、懐疑的あるいは否定的な言説となっている植田（1999、2004、2005a、2005b、2006、2007、2008）、薬師院（2002）、渡辺（2005、2006）、伊藤（2003、2005、2006、2009）、近藤（2006）、池田（2006）、矢沢（2007）、Lomborg（2001、2005、2007）、Durkin（2007）、武田（2007a、2007b、2007c、2008a、2008b、2008c）、Crichton（2007）、伊藤・渡辺（2008）、山口（2006）、丸山（2008a、2008b、2008c、2009）、武田・丸山（2008）、養老（2007）、赤祖父（2008、2009）などを中心に¹、彼らの温暖化に関する主な議論への反論を以下のような5つの章に分けて整理した。

第1章：温暖化問題における「合意」

第2章：温暖化問題に関するマスコミ報道

第3章：温暖化問題の科学的基礎

- 3.1. 過去および現在の観測データに関する議論
- 3.2. 過去および現在の気候変化の原因に関する議論
- 3.3. 炭素循環に関する議論
- 3.4. 温室効果強化に対する気候システムの応答に関する議論
- 3.5. 地球大気の種類・光学特性に関する議論
- 3.6. 海水準変化に関する議論

第4章：温暖化対策の優先順位

第5章：京都議定書の評価

本稿は、「IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）報告書などの結論に異を唱えること」に対して、すべて「懐疑論」のレッテルを貼ろうとしているわけではない。言うまでもなく、物事に対して懐疑的であることは科学の基本であり、常に必要なことである。IPCC報告書には、様々な対立する意見が検討され続けており、その上で、現時点においてもっとも状

¹日本語圏での温暖化懐疑論には、英語圏から直接持ち込まれたものもある。しかし、それに対する反論は英語圏で見つけることができる。したがって、私たちの反論では、Lomborg（2007）およびDurkin（2007：映画『The Great Global Warming Swindle（地球温暖化詐欺）』）を例外として、日本語圏内の人のオリジナル著作に見られる懐疑論に重点をおく。

はじめに

況をよく説明できる仮説が、その確からしさに関する定量的な議論とともに紹介されている。このような営みは、現在までに蓄積された科学的知見に基づいて、より深い理解をもたらすための「科学の営み」である。

ところが、今なお人為的排出二酸化炭素温暖化説の信頼性や温暖化問題の重要性に対して懐疑的あるいは否定的な議論には、次のような特徴をもつものが多い。

- ◆ 既存の知見や観測データを誤解あるいは曲解している
- ◆ すでに十分に考慮されている事項を、考慮していないと批判する
- ◆ 多数の事例・根拠に基づいた議論に対して、少数の事例・根拠をもって否定する
- ◆ 定量的評価が進んできている事項に対して、定性的にとどまる言説を持ち出して否定する（定性的要因の指摘自体はよいことではあるものの、その意義づけに無理がある）
- ◆ 不確かさを含めた科学的理解が進んでいるにも関わらず、不確かさを強調する
- ◆ 既存の知見を一方向的に疑いながら、自分の立論の根拠に関しては同様な疑いを向けない²
- ◆ 問題となる現象の時間的および空間的なスケールを取り違えている
- ◆ 温暖化対策に関する取り決めの内容などを理解していない
- ◆ 三段論法の間違いなどロジックとして誤謬がある

このような議論の多くは、これまでの科学の蓄積を無視しており、しばしば独断的な結論に読者を導いている。温暖化のリスクが増大している状況下で、このような議論が社会に広まることを科学者としては看過できない。したがって、私たちは懐疑論に対する具体的な反論をとおして、最新の科学的知見に関する情報発信を行うと同時に、地球温暖化問題の重要性に関する認識の喚起をうながしたいと考える。

他の参考資料

本稿は、2005年度環境経済・政策学会（2005年9月東京）での討論資料および2006年2月18日に東京の高千穂大学で開催された明日香・吉村純と榎田敦・中本正一郎両氏による「地球温暖化に関する公開討論会」の明日香・吉村側からの資料をもとに修正・加筆を行ったものである。したがって、本稿とともに、この「地球温暖化に関する公開討論会」の発表資料を合わせてご一読いただけると、懐疑論が持つ論理不整合性に対する理解が深まる（明日香・吉村純のパワーポイント発表資料は、<http://www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/>からダウンロード可能）。

また、同様の趣旨で異なった読者層を対象に、明日香ら（2006）、増田ら（2006）、明日香（2007）、明日香・神保（2007）、江守（2008）、明日香ら（2009）、国立環境研究所地球環境研究センター（2009）などの参考資料があり、エネルギー・資源学会の学会誌『エネルギー・資源』（2009年1月号および3月号）では、江守が、赤祖父俊一氏、伊藤公紀氏、丸山茂徳氏、草野完也氏らと誌上討論を行っている（全文が<http://www.jser.gr.jp/>からダウンロード可能）。

さらに、米国や欧州の第一線の研究者らが中心になって運営しているブログ“Real Climate”

² 「人間は、人に騙されるよりも自分に騙される」というドストエフスキーの言葉がある。

はじめに

(<http://www.realclimate.org>)では、温暖化に関する最新の知見や議論がトピックごとに解説されており、懐疑論やそれに対する反論コメントを読むことが出来るので興味深い。同様に、“RealClimate Economics” (<http://www.realclimateeconomics.org/>) および “Climate Ethics” (<http://climateethics.org/>) は、それぞれ経済学および倫理学の側面からの文献を解説したり、議論を展開したりしている。

以下に、温暖化問題に関する知識レベルに応じた推薦ウェブサイトの一覧をまとめた。ご参照いただければ幸いである。

1) 温暖化問題に関しては初心者の人向け

NCAR: Weather and climate basics

<http://www.eo.ucar.edu/basics/index.html>

Oxford University: The basics of climate prediction

<http://www.begbroke.ox.ac.uk/climate/interface.html>

Pew Center: Global Warming basics

<http://www.pewclimate.org/global-warming-basics/>

NASA: Global Warming update

<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/GlobalWarmingUpdate/>

国立環境研究所地球環境センター: 見て、読んで、理解する 地球温暖化資料集

<http://www-cger.nies.go.jp/ws/opening.html>

Wikipedia: Global Warming

http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming

日経エコロミー: 温暖化科学の虚実 - 研究の現場から「斬る」!

http://eco.nikkei.co.jp/column/emori_seita/index.aspx

2) ある程度は知識を持っている人向け

The IPCC AR4: Frequently Asked Questions

<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>

Hadley Centre: Climate change and the greenhouse effect-A briefing

<http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/pubs/brochures/>

Royal Society: Guide to facts and fictions about climate change

<http://www.royalsoc.ac.uk/page.asp?id=2986>

国立環境研究所地球環境センター: ココが知りたい温暖化

http://www-cger.nies.go.jp/qa/qa_index-j.html

3) ある程度は知識を持っているものの、より深めたい人向け

IPCC 第四次報告書 (AR4 2007) <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>

IPCC 第三次報告書 (TAR 2001) http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm

はじめに

4) 温暖化問題を巡る科学の歴史を知りたい人向け

Spencer Weart's "Discovery of Global Warming" (AIP)

<http://www.aip.org/history/climate/index.html>

5) ある程度は知識を持っていて、かつ懐疑論に対して具体的に反駁したい人向け

Coby Beck's How to talk to Global Warming Skeptic

<http://gristmill.grist.org/skeptics>

New Scientist: Climate Change: A guide for the perplexed

<http://environment.newscientist.com/channel/earth/dn11462>

RealClimate: Response to common contrarian arguments

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2004/12/index/#Responses>

NERC (UK): Climate change debate summary

<http://www.nerc.ac.uk/about/consult/debate/climatechange/summary.asp>

A Few Things Ill Considered

<http://scienceblogs.com/illconsidered/>

なお、IPCC の第 1 次報告書 (1990)、第 2 次報告書 (1995)、第 3 次報告書 (2001)、第 4 次報告書 (2007)、政策決定者のための要約、技術的要約を、英語ではそれぞれ FAR (First Assessment Report)、SAR (Second Assessment Report)、TAR (Third Assessment Report)、AR4 (Assessment Report No.4)、SPM (Summary for Policy Maker)、TS (Technical Summary) と略すことがある。また、IPCC の 3 つの作業部会を、WG1 (Working Group No.1)、WG2 (Working Group No.2)、WG3 (Working Group No.3) と略すことがある。そのため、本稿でも日本語と英語の両方の記述が用いられている。

個人のキャパシティには限界があり、新たな知見も次々と現れる。したがって、本稿はあくまでも ver.3.0 であり、例えば温暖化問題の科学的基礎に関しては、日本気象学会などの場での継続的な議論が必要だと思われる。なお、本稿の第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章は明日香が担当して執筆し、第 3 章は全員で分担して執筆した。

第1章 温暖化問題における「合意」

温暖化問題に関する「合意」に対して懐疑的な議論は、1) 温暖化の科学には、合意そのものがない、2) 科学においては合意があること自体がおかしい、という二つの種類がある。前者の懐疑論は、たとえば、将来の温度上昇の幅に不確実性があるという意味では正しい。しかし、温度上昇の事実や温暖化の原因に関して、科学コミュニティにおいては、ほぼ 100%の合意がある。後者の懐疑論は、「ほぼ 100%の合意があって、かつ人類の行動規範の形成に大きな影響を与えている科学の仮説は、人為的排出二酸化炭素温暖化説以外にも数多くある」という理由で論理的な批判ではない。本章では、具体的な事実や定量的な分析をもとに、1) 科学コミュニティにおける合意の存在、2) 意識的かつ組織的な懐疑論の構築、などについて検証する。

議論 1. 温暖化、特に温暖化への人為的な影響に関する世界的な合意はない。

証拠 1. 全米科学アカデミーの元会長（Frederick Seitz）が（も）京都議定書を否定しており、世界では、温暖化に対して懐疑的な議論が活発になされている（渡辺 2005, p.74；矢沢 2007）。

<反論>

第一に、その人物の肩書きが何であろうと、一個人の意見がすべての意見を代表するわけではない。第二に、Oreskes（2004）によると、“Global Climate Change”というキーワードで、1993年から2003年までに発表され、ISI データベースに登録されている査読付きの論文を分析したところ、928論文が該当し、かつ、その中で温暖化に対する人為的な影響の存在を否定しているものは一つもなかった。第三に、米国では、the National Academy of Sciences（全米科学アカデミー）の他に、the American Meteorological Society、the American Geophysical Union、the American Association for the Advancement of the Scienceのような学会も、人為的要因による二酸化炭素の排出が温暖化をもたらすという説を支持する公式文書を発表している。また、世界の多数の学術団体が合同で、この人為的排出二酸化炭素温暖化説を支持する声明を出している（<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-s1027w.pdf>）。

すなわち、少なくとも世界および米国内のアカデミアにおいては「合意はある」とする方が状況認識としては正確である。一方、いわゆる懐疑論者は少数派であり、かつ全く分野が異なる専門外の研究者あるいは非研究者である場合が少なくない。

もちろん、そのような方々が議論をしてはいけない、という意味ではない。私たちが言いたいのは、議論をするのなら、世界中の様々な分野の学界において多くの研究者が行ってきた議論の帰結や最新の知見などを十分に踏まえた上で議論をしてほしいということであって、このように要望するのは温暖化に関わる研究に従事するものとして横暴な態度ではないと思う。

なお、人為排出による二酸化炭素が温暖化の原因となっている証拠を示せ、という批判あるいは要求をよく聞くが、温暖化のサイエンスに関して異なる知識レベルを持つ様々な懐疑論者が、一体何を持って「二酸化炭素が温暖化の主原因である証拠」と認めるのが明確でないため何とも答えようがないというのが率直な反応である。もし、仮に批判者が、生物や化学の対照実験の結果のようなレベルの「証拠」を要求しているのであれば、地球がもう一つと大型のタイムマシンが必要となる。

「20世紀後半からの温暖化は二酸化炭素が主原因」という人為的排出二酸化炭素温暖化説は、数学の定理のように厳密に証明されたものではなく、科学の議論の大部分と同様、仮説である。ただし、この議論は、ひとつの決定的証拠によって真偽が定まるような仮説ではない。すなわち、様々な観測事実、物理法則、シミュレーション結果などに基づいて、気候に影響を与える因子（二酸化炭素、フロン、メタン、水蒸気、太陽活動、硫酸化物、すすなど）の大きさを総合的に説明するように考えられた仮説である。前述のように、ほぼ全ての気候学者が同意した議論でもあり、少なくとも現時点においては、その信憑性を否定するような観測事実は皆無に等しい。そして、いま私たちに求められているのは、このような状況のもとでの予防原則に基づいた政策的判断によるリスク管理なのである。

証拠 2.「京都議定書に批准するな」という嘆願書（オレゴン嘆願書）に1万数千人の科学者の署名が集まった（渡辺 2005, p.74；矢沢 2007）。

<反論>

1998年に米国のシンクタンクである Oregon Institute of Science and Medicine (OISM) が行った“Oregon Petition”（オレゴン嘆願書）は、米国議会による京都議定書批准阻止を目的に行われた懐疑的な人々による嘆願運動であり、嘆願書および後述するレビュー論文もどきを OISM が数万人に郵送したところ、約1万7千人の「科学者」の署名が集まったと喧伝されているために、懐疑的な見方を持つ人の数の多さや勢力の大きさを示すものとしてしばしば懐疑的な見方を持つ人自らによって引用される。例えば、渡辺（2005）は、「これによって）覚めた」と書いている（p.74）。

しかし、この嘆願書の信頼性には大きな疑問符がつく。例えば、2001年に米 *Scientific American* 誌が、この嘆願書に署名した中で Ph.D. 保持者と主張する 1400人のうちランダムに 30人を選んで追跡調査を行っている（Musser 2001）。この調査によると、まず 30人のうち 26人が様々なデータベースで確認でき、この 26人のうちの 11人が、現在においても「嘆願」には賛成で、そのうちの 1人は現在でも活動中の気候学者、2人は関係する学問分野での研究者、8人はインフォーマルな評価に基づいて嘆願書に署名していた。一方、確認された 26人のうち 6人は、現時点であれば署名しなかったと述べ、3人は嘆願書自体が全く記憶になく、1人はすでに死亡していた。残りの 5人は何回もコンタクトを試みたものの、何も返答がなかった。すなわち、30人のうち、2001年時点でも積極的な懐疑論を主張している気候学者は一人しかいないことになる（関連分野の研究者を含めれば3人）。また、あるジャーナリストは「10分くらい署名者のリストをちらっと見ただけでも、同姓同名（二人の Joe R.Eagleman、二人の David Tompkins）、姓がない名前（Biolchini）、会社の名前（Graybeal & Sayre, Inc）、偽名と思われる名前（Redwine, Ph.D.）が見つかる」と書いている（Shelly 2005）。

いずれにしろ、オレゴン嘆願書には、署名者は名前のみが掲載されているだけで、所属、経歴、連絡先などはすべて不明である。したがって、著しく透明性に欠けたものであり、そもそも信頼性云々を議論できるレベルのものでさえない。

なお、このオレゴン嘆願書に主宰者として関わっているのが Frederick Seitz である。彼がロックフェラー大学の学長をしていた際に、大学はタバコ会社から 4500万ドルの献金を受けており、「間接喫煙の健康被害はない」と強く主張し続けた彼自身は、大学を辞める少し前に、そのタバコ会社と有給の期限なしコンサルタントとして雇用契約を結んでいる。

実は、タバコと温暖化懐疑論との関係は非常に興味深く、米国の科学者グループ「憂慮する科学者同盟（Union of Concerned Scientist）」が、2007年1月にエクソンモービル社と懐疑論者とのつながりに関する非常に詳細なレポートを出している（Union of Concerned Scientist 2007）。実際に、資金源となって米国の温暖化懐疑論者を操っているのは石油メジャーのエクソンモービル社であることはほぼ周知の事実であり、このレポートによると、かつてタバコ会社がとった戦略とエクソンモービル社がとった戦略は酷似しており、その中心人物も、前出の Frederick Seitz など数人がだぶっている。

第1章 温暖化問題における「合意」

これらの事実だけでも、なかなか「きわどい」のであるが、実はオレゴン嘆願書には、以下のよう
なよりきわどい点がある³。

第一に、嘆願書と一緒に“Research Review of the Global Warming Evidence”として配布されたレビュー
論文もどきは、全米科学アカデミーが出版している学会誌 *Proceedings of National Academy of Science*
(*PNAS*) に査読付きで掲載されているオフィシャルな論文の様式と全く同じような様式で印刷されて
配られたため、少なからぬ人が「*PNAS* の査読を通った論文の別刷り」「全米科学アカデミーがお墨付
きを与えた論文」という印象を受けた。例えば、全米科学アカデミーの渉外担当である F. Sherwood
Rowland (彼自身は大気化学の研究者) は、「論文を受け取った研究者は、誰かが自分たちをだまそう
としているのではないかと考えた」と述べている (Lambert 2004)。また、カバー・レターの差し出し
人である Frederick Seitz の肩書きが「元全米科学アカデミー会長」となっていたため、「彼がまだ全米
科学アカデミーの運営に関係している」という印象も与えた (会長を務めたのは 60 年代で、1998 年当
時の年齢は 87 才。2008 年 3 月に逝去)。これらの誤解を解くために、全米科学アカデミーは、「OISM
によって配布された論文と全米科学アカデミーは全く関係なく、論文は *PNAS* に掲載された査読付き
論文ではない」という異例の声明をすぐに出さざるを得なかったほどである。

第二に、配布された論文の第一著者である Arthur Robinson は生化学者で、第二、第三の著者である
Sallie Baliunas と Willie Soon は、宇宙物理学者ではあるものの、石油会社がスポンサーとなっているシ
ンクタンクと深いつながりを持っている。第四著者の Zachary W. Robinson は、第一著者の Arthur
Robinson の息子であり、Shelly (2005) によると、科学者としてのプロフェッショナルなトレーニング
は受けていない人物である。

第三に、論文の内容だが、これは“Research Review of the Global Warming Evidence”として配布された
ものの、実際には、“Research Review of the Evidence against Global Warming”と呼ぶべき内容となってい
る。例えば、著者たちは温度上昇に関して (当時は上昇傾向を見せていないとされていた) 衛星観測
データのみを載せ、地表面での温度上昇の観測データは紹介していない (最新の知見によると、NOAA
の衛星データおよび気球によるデータの方に誤りがあったことが明らかになっている。本稿の議論 4
を参照せよ)。また、ヒートアイランドによる影響を強調し、NASA によるヒートアイランドの影響を
十分に考慮して割り引いて作成された温度上昇データも紹介していない。すなわち、非常に偏ったレ
ビューになっている。

第四に、オレゴン嘆願書の主宰者側である OISM は、その OISM が深く関係する雑誌のホームペー
ジ上 (<http://www.accesstoenergy.com/view/ate/s41p31.htm>) において「(オレゴン嘆願書は) 1 万 7 千人の
科学者が、温暖化は、科学的な根拠が何もないウソと主張していることを示している」と主張してい
る (原文は、“See over 17,000 scientists declare that global warming is a lie with no scientific basis whatsoever”)

³ この部分の記述は、Wikipedia での Frederick Seitz に関する説明：http://en.wikipedia.org/wiki/Frederick_Seitz (2007 年 2 月 21 日)、Leipzig Declaration に関する説明：http://en.wikipedia.org/wiki/Leipzig_Declaration (2007 年 2 月 21 日)、Shelly (2005)、Musser (2001)、Lambert (2004) に依拠している。Frederick Seitz とタバコ会社との関係に関しては、http://www.ecosyn.us/adti/Seitz_Tobacco_Crimes.html を参照。なお、彼は、間接喫煙の他に、アスベストなどの危険性を否定するような論文も書いている。

第1章 温暖化問題における「合意」

しかし、オレゴン嘆願書の文章は、よく読むと“*There is no convincing scientific evidence that human release of carbon dioxide, methane, or other greenhouse gasses is causing or will, in the foreseeable future, cause catastrophic heating of the Earth’s atmosphere and disruption of the Earth’s climate*”と書いているにすぎない。すなわち、オレゴン嘆願書には「現在、人為的な排出による二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガスの排出がカタストロフになるような温度上昇および地球の気候の崩壊をもたらしている、あるいは *foreseeable future*（予見できる近い将来）において、そのような温度上昇や気候の崩壊をもたらすことを示す *convincing* な科学的な証拠はない」と書いてあるだけで、「温暖化はウソ」といったような事は一切書かれていない。これは、OISM は、自らの嘆願書の内容を偽って宣伝していることを意味しており、とりあえず嘆願書は署名者を集めやすいような文章にしておいて、署名者が集まったら既成事実として「温暖化はウソである証拠」として嘆願書を使っているように思われる。

オレゴン嘆願書と似たようなものとしては、Frederick Seitz と同じくタバコの間接喫煙による健康被害を否定し、クロロフルオロカーボン（CFCs、いわゆるフロンガス）によるオゾン層破壊や紫外線による皮膚ガンの発生の可能性などにも異を唱えていた人物として有名な Fred Singer が主宰した“*Leipzig Declaration*”（ライプチヒ宣言）がある⁴。これは、1995年と1997年に行われた温暖化対策や京都議定書に対する反対署名であり、80人の研究者と25人の気象予報士が署名したとされる。これに対しても、デンマークのテレビ局（DR1）が欧州在住の署名者33人の追跡調査を行っている（このデンマークのテレビ会社が制作した番組は、日本のNHKで数年前に放映されている）。それによると、33人のうち4人が確認できず、12人が署名したことを否定し、何人かは、「宣言」自体を聞いたことがなかった。署名した人の職業は、医者、核物理学者、昆虫学者であった。

このようにして、専門家のうちに懐疑論者が多いという話がつくられたのである。

<追記（2009年5月1日）>

2007年10月に、OISMは嘆願書を再発送して署名を集めた（嘆願書の文面は前の版と同じ）。それには、やはりSeitzの手紙と、前と同じ題名のレビュー論文もどき（Robinson *et al.* 2007）が添えられていた。したがって、現在、オレゴン嘆願書に関してOISMのホームページ（<http://www.oism.org/pproject/>）からダウンロードできるのは2007年10月の新版である。

新版の論文もどきの著者はArthur B. Robinson、Noah E. Robinson、Willie Soonの3人である。NoahはArthurのもうひとりの息子で、博士号をもちPNASや他の雑誌に論文を出した経歴もある。しかし、その専門は父と同じ生化学であり気候にかかわるものではない。このRobinson *et al.* (2007)の内容については、気候科学者による批評（MacCracken 2008）がある。

嘆願書の署名者名は2007年以前のものも含まれているものの、最初の版に対して指摘されたおかしな点は修正されたようである。例えば、Eaglemansは1回になり、RedwineはKent Redwineとなっている。

⁴ Fred Singer に関しては、<http://www.ecosyn.us/adti/Singer-Nightline.html> や Wikipedia での彼に関する説明：http://en.wikipedia.org/wiki/Fred_Singer、Leipzig Declaration に関しては、<http://www.sepp.org/policy%20declarations/leipzig.html> や Wikipedia での説明：http://en.wikipedia.org/wiki/Leipzig_Declaration などをそれぞれ参照（2007年2月21日）

証拠 3. 「科学者の9割が、二酸化炭素が原因ではないと考えている」(丸山 2008c) (武田 2008bにも同様の記述がある)

<反論>

まず、丸山 (2008c) の一部を引用する。

「2008年5月25日-28日、地球惑星科学連合大会(地球に関する科学者共同体47学会が共催する国内最大の学会)で「地球温暖化の真相」と題するシンポジウムが開催された。その時に、過去50年の地球の温暖化が人為起源なのか、自然起源なのか、さらに21世紀はIPCCが主張する一方的温暖化なのか、あるいは、私(丸山)が主張する寒冷化なのか、そのアンケートを取ろうとした・・・」(p.3)
「シンポジウムで行われたアンケートによれば、「21世紀が一方的温暖化である」と主張する科学者は10人に1人しかいないのである。一般的にはたった1割の科学者が主張することを政治家のような科学の素人が信用するのは異常である・・・」(p.4-5)

アンケートの詳しい内容や結果は明らかにされていないものの、安井(2008)が述べているように、上記の記述や実際に参加者からの聞き取りなどから次のようなものだったと推察される。

21世紀における温度変化に関して：

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| (選択肢 a) 「21世紀が一方的温暖化である」 | → 会場でイエスと答えた人は10人中1人 |
| (選択肢 b) 「21世紀は寒冷化の時代である」 | → 会場でイエスと答えた人は10人中2人 |
| (選択肢 c) 「わからない」 | → 会場でイエスと答えた人は10人中7人 |

以下では、安井(2008)および吉村(2008)を参考にしながら、このようなアンケート手法および結果の公表方法に関する問題点を挙げる。

- 1) 地球惑星科学連合大会の特別セッションの主催者は丸山茂徳氏本人であったため、丸山氏の考えに近い参加者が多かった可能性がある。
- 2) 気象学者や気候学者の多くはその前週に横浜で開かれた日本気象学会春季大会に行っているため、地球惑星科学連合大会の特別セッションに参加した気象学者や気候学者は少数だったと考えられる。
- 3) アンケートの文章が極めて非科学的である。たとえば、「一方的」という言葉は、ある結論に意図的に導こうとしているようにも思われる。「地球の揺らぎは大きいから、一時期は寒冷化するだろう」と考えて(c)と答えた場合、事実としてまちがってはならず、かつ、人為的二酸化炭素排出温暖化説を否定したことにもならない。
- 4) セッション参加者は200人ほどであり、挙手によるアンケートであるため、実際にアンケートに参加した人数はさらに少ないと思われる。また、解答者の重複も生じていたと思われる。すなわち、サンプルとして日本の科学者を代表しているとはとても言い難く、質という意味でも、数という意味でも、このアンケート結果が、科学者コミュニティに対する客観的な「世論調査」として信用できるようなものでない。
- 5) この挙手アンケートを丸山茂徳氏が行おうとしたときに、アンケート結果がどのように利用され

第1章 温暖化問題における「合意」

るのかを問題視するような質問が会場から出された。これに対して、丸山茂徳氏が「結果は公表しない」と会場では断言したにも関わらず、結果的に公表した。

すなわち、アンケートの信頼性自体が大いに疑問であり、発表しないとしたものを発表するというのも少々問題があるように思える。

なお、武田（2008b, p.22）にも同様の記述がある（こちらは「8割の科学者」）。これは、丸山氏の本の題名に影響を受けたものだと思われる。

（担当執筆者：明日香壽川）

第1章 温暖化問題における「合意」

第2章 温暖化問題に関するマスコミ報道

言うまでもなく、現代社会において新聞、雑誌、そしてテレビなどのマスメディアが果たす役割は非常に大きい。そして、懐疑論あるいは懐疑論者は、マスメディアに登場することによって、その影響力を拡大している。一方、温暖化に関する報道が、逆に過剰だと感じられるような場合も、一般市民やマスコミ関係者にとって懐疑論が、心理的に魅力的なものとしてうつることがあるように思われる。実は、このような現象はどの国でも起きており、各国のマスメディアは、様々な「学習」を経て温暖化問題に関する報道を「発展」させている。以下は、このような事実を踏まえての、反論というよりも、私たちから日本のメディア関係者の方々へのお願いである。

議論 2. 「マスコミでは、最近になって、人為的な温暖化に対する批判の記事が出るようになった（例えば、毎日新聞 05 年 11 月 29 日）」（樋田 2006, p.138）「マスコミには守らなければならない大原則がある。もちろん、その一つは「事実を報道すること」だが、もう一つは「異なる見解がある時には片方だけを報道してはいけない」ということだ」（武田 2007a, p.117）。

<反論>

米国ほどではないにしても、日本でも「報道におけるバランス」「少数意見の尊重」などを理由に、しばしば温暖化懐疑論者の意見が新聞などに掲載される。

しかし、例えば欧州においては、米国や日本のメディアと比較すると、懐疑的な議論が取り上げられる機会は極端に少ない。これに関して、英ファイナンシャルタイムズ紙の記者で環境分野担当の Fiona Harvey は、「欧州のメディアがバランスに欠けているのではない。懐疑論者の議論を同じように取り上げてしまうと、（実際はそうではないのに）彼等がアカデミックの世界でも大きな勢力を持っているという間違っただ印象を読者に与えてしまうことになると考えているからだ」と明確に述べている（Thacker 2006）。

もちろん、何を取り上げるか、あるいはどのような記事を書くかは各個人の全く自由であり、私たちの意見を押しつける気は毛頭ない。また、こうした懐疑論がメディアで取り上げられるのは、温暖化問題に様々な人々が大きな関心を寄せていることの証左とも考えられ、その意味では歓迎すべきことなのかもしれない。しかし、メディア関係の人々に対して、懐疑論者の議論を新聞などで紹介する前に、1) 懐疑論の中身や懐疑論者の背景に関してもう少し勉強して欲しい、2) 必ずしも現在の科学知識をよく代表するものではないので個々の論文（最新であっても）の結論を重視しすぎないでほしい、などをお願いするのは決して過大な要求ではないと思う。

例えば、「温暖化は起きていない」や「温度上昇のグラフには海や田舎のデータが入っていない」といったような類の議論は、本稿でも説明するように、IPCC や米航空宇宙局（NASA）のホームページにアクセスすればすぐ間違いだと分かる。また、懐疑論の多くが同種の本や米国の懐疑論者のホームページなどからの受け売りであって、根拠や出典が曖昧なものがほとんどであることも彼等の著書の引用文献などを見れば一目瞭然である。そもそも、大部分の懐疑論者は、気候科学や地球科学を専門とする研究者ではなく、（少なくとも欧米では）特定の利益団体と結びついた人たちである。

懐疑論者の中には、学術誌における査読制度を批判し、懐疑的な内容の論文が掲載されない理由を学会ファシズムのせいにする人たちがいる。しかし、実際に専門的な学会に参加して、論文を真面目に学術誌へ投稿しようとしている懐疑論者は非常に少ない（日本では一人か二人）。投稿論文が学術誌に掲載されない理由も、ただ単に論文の水準が低いためであり、学会ファシズムといったような批判は被害妄想と自信過剰の賜物以外の何物でもない。

既得権益死守を目的とした戦略的懐疑論者の真のターゲットも専門家や学会ではない。彼等の目的は温暖化対策の必要性に対する社会認識をできるだけ希薄なものにすることなので、それを実現するための戦略として、とにかく「温暖化問題はなんとなく不確実性が大きい」という消えにくいイメー

第2章 温暖化問題におけるマスコミ報道

ジを世間一般の人々の頭の中に植え付けようとしている。そして、残念なことに、無意識のうちに、そのような既得権益死守を目的とした人々の片棒を担いでしまっているナイーブな懐疑論者の人々が日本には少なくない。

科学と社会とのコミュニケーションにおいては、科学者の側からの努力が必要であることは言を俟たない。そして、残念ながら温暖化問題に関して、概して日本では、関連分野の専門家が十分な努力を払っていたとは必ずしも言えない。しかし、何と云ってもメディアの影響力は絶大である。温暖化対策の必要性が増す中、「人が犬に噛みついた」のノリだけで温暖化懐疑説を取り上げることだけは是非ともやめて欲しいというのが私たちの切実な願いである。

なお、気候変動とメディア報道との関係に関しては、米国におけるバランス問題（人為的排出二酸化炭素温暖化説懐疑論との両論併記問題）を批判的に取り上げたBoykoff and Boykoff（2006）や、同じく米国において不十分な理解に基づいた新聞報道が温暖化政策の進展を遅らせたと結論づけたPooley（2009）などの論考があるので参照されたい。

（担当執筆者：明日香壽川）

第3章 温暖化問題の科学的基礎

21世紀に地球の気候が温暖化するという見通しは、基本的には、温室効果の理論と、大気中の二酸化炭素濃度が増加しているという事実に基づいて得られた理論的なものである。1988年のIPCC発足以後、「20世紀にすでに温暖化が起きていることが事実として検出できるか」「その原因として二酸化炭素濃度増加の寄与が特定できるか」などの問題（検出と原因特定 detection and attribution）がたてられ、長い検討の末にIPCCはこれに肯定的に答えた。これは21世紀の温暖化の理論的見通しを支える議論のひとつとなっている（ただし、理論的見通しの不可欠な部分ではない）。温暖化懐疑論には、この20世紀における温暖化の事実とその解釈を疑うものが多い。本章では、温暖化問題の科学的基礎に関する様々な懐疑論に対して具体的にコメントする。

<本章の構成>

3.1. 過去および現在の観測データに関する議論

- 20世紀にすでに温暖化が起きていることに対する懐疑論
- 本当に温暖化しているのか？という疑問

3.2. 過去および現在の気候変化の原因に関する議論

- その主要な原因が温室効果ガス増加であることに対する懐疑論
- そのほかの原因は考えられないのか？という疑問

3.3. 炭素循環に関する議論

- 大気中の二酸化炭素濃度増加の原因が人間活動であることに対する懐疑論
- 二酸化炭素は人が増やしたのか？という疑問

3.4. 温室効果強化に対する気候システムの応答に関する議論

- 温室効果による温暖化の強さに関する懐疑論
- 二酸化炭素が増えてもこれ以上温暖化しないのでは？という疑問

3.5. 地球大気 of 構造・光学特性に関する議論

- 二酸化炭素の温室効果自体に関する懐疑論
- 二酸化炭素が増えるとどれくらい温暖化するのか？という疑問

3.6. 海水準変化に関する議論

- 温暖化を原因とする海面上昇に対する懐疑論
- 影響の一つの氷の融解の実状は？という疑問

3.1. 過去および現在の観測データに関する議論

観測データによる19世紀後半からの全球平均気温（Brohan *et al.* 2006）や、古気候指標から復元推定された過去1000年スケールの北半球平均気温（National Research Council 2006；Mann *et al.* 2008）の時系列グラフは、20世紀後半からの顕著な温暖化傾向を示している。たしかに、これらのグラフに関わる科学的不確実性は残っており、太陽活動などの自然起源の変動の寄与など、解釈についても議論の余地はある。しかし、こうした点をことさらに取りあげたり、ヒートアイランド現象の影響を過大評価したりすることによって、グラフに示唆される温暖化傾向を全く無視してよいかのような主張を繰り広げる懐疑論がある。本節では、こうした懐疑論の事実誤認や行き過ぎた点を指摘し、観測データに対する批判と信頼の健全なバランスを保った態度が必要であることを説く。

議論 3. そもそも温暖化が起きているかどうかはわからない。なぜならば、温度の観測データがおかしい、温暖化も止まっている。

証拠 1. 地球表面の7割を占める海上の気候変化のデータはなく、都市化の影響も十分に考慮されていない（渡辺 2005, p.76；武田 2008b, p.37）。

<反論>

まず、海上のデータがないというのは渡辺（2005）の全くの誤解である。全球平均地上気温と呼ばれる数値を計算するには、ふつう、陸上で観測された気温のデータと、船などで観測された海面水温のデータが使われている。その方法は、野沢（2007）が解説しているので参照してほしい。例えば IPCC 第4次報告書に掲載された過去27年間の温度変化の図（図1-1）は、このように陸上気温と海面水温のデータを組み合わせて得られたものである。

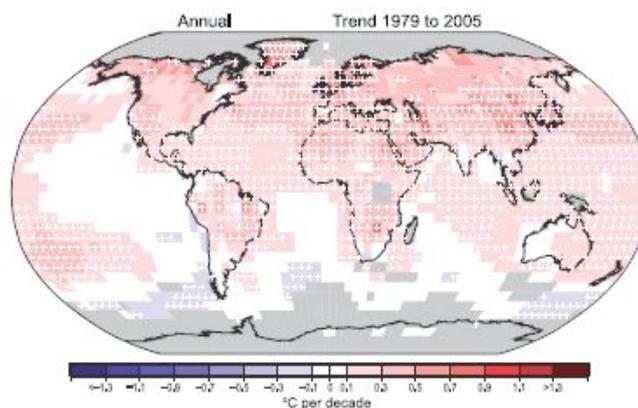


図 1-1. 全球的な温暖化傾向を示す観測結果

出所：IPCC WGI AR4 Fig.3.9

第3章 温暖化問題の科学的基礎

NASAのジェームス・ハンセンたちが発表しているグラフ (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>) は、陸上だけの集計値もあるが、海上だけのもの、海と陸の両方を含めたものもある（いずれも上昇傾向はほぼ同じである。なお、NASAだけでなく、日本の気象庁や英East Anglia 大学の気候研究ユニットでも同様に陸上のみの情報を公開している）。

陸上の観測点のうちには、都市のヒートアイランド効果など、観測場所のローカルな環境の変化の影響が大きいところもあることは確かである。したがって、全球平均地上気温を計算している各研究グループでは、ローカルな影響を受けた観測値を除外あるいは補正する努力をそれぞれ行なっている。また、Parker (2004) は、ヒートアイランド効果は風の強い夜には弱いにもかかわらず、温度上昇量は風の強い夜と風の弱い夜との間に大きな違いがないことから、温度上昇へのヒートアイランドの影響は小さいと評価した。なお、仮に、ローカルな影響が完全に除去しきれなかったとしても、全球平均気温にあたる影響は小さい (Hansen *et al.* 2001 ; Peterson and Owen 2003)。また、大都市にあるからと言って、必ずしもその地点のデータが都市化の影響を受けているというわけではない (Peterson 2003)。

図1-2は夜間の衛星画像の合成図（都市化の度合いを視覚的に伝える図）である。まず、図1-1の27年間の温度変化傾向と図1-2の比較によって、ユーラシア大陸上などの大きな上昇トレンドが都市化とは無相関であることがわかる。また、全体的にも、これらの年だけではなく他の年でも相関性は見いだせないことなどから、温度上昇と都市化は無相関であると言える。温暖化が激しいのはむしろ都市化が進んでいない場所であり、このことは「都市化による全球気温のバイアス」が幻想であることを示している。



図 1-2. 夜間の衛星画像（2002 年 8 月 11 日）

出所： http://veimages.gsfc.nasa.gov/1438/earth_lights_lrg.jpg

第3章 温暖化問題の科学的基礎

ところで、全地球の温暖化の指標は全球平均地上気温だけではない。地上から高さ約数kmまでの対流圏下層の気温にも（「議論4」の項参照）、海の深さ3kmまでの蓄熱量にも（Levitus *et al.* 2005）、上昇傾向が見られる。これらが主にヒートアイランドなどのローカルな影響によるものでないことは明らかである。

なお、武田（2008b）も、「事実、IPCC は、報告する地球温暖化のデータでは、「都市化による平均気温の上昇を除いていない」と言うことを公表している」と書いている（p.37）。しかし実際には、IPCC 報告書の中にこのような記述は存在しない。例えば、“A number of recent studies indicate that effects of urbanisation and land use change on the land-based temperature record are negligible (0.006°C per decade) as far as hemispheric- and continental-scale averages are concerned because the very real but local effects are avoided or accounted for in the data sets used.”（対応訳）「最近の多くの研究が示すように、半球規模や大陸規模でみる限り、(1950年以降の)陸上気温の記録に、都市化や土地利用の変化が及ぼす効果は無視できる。なぜならば、実際にあるとはいえ局地的な効果は、用いられるデータセットの中で無効となるか補正の対象となってしまうからである」とある（IPCC WG1 AR4 Chapter 3, p.237）。したがって、前出の IPCC の記述に関する文章は武田氏による創作だと思われる。

また、「温室効果ガスで気温が上がっているのは、日本でも世界でもせいぜい 0.2°C 程度ということになる」（武田 2008c, p.73）と書いているが、これも誤った計算である。なぜなら、武田（2008c）では、都市と田舎各 1 点のデータのみをもって、都市部の気温上昇が見られる一方で田舎では気温上昇が見られないと断言し、「あまり精度が高くないのに、細かい数値を提示するのは誠意がないので、ここでは「半分」と、何ら根拠なく、気温上昇量の半分以上を都市化の影響としているからである。実際には、(都市化の影響がほとんど含まれていない) IPCC で取り上げられている全球海水温の上昇量は 0.67°C/100年（1901～2005年）であり、武田氏が「半分」と断言する根拠は全くない。

さらに、武田（2008c）では、赤祖父（2008）の図（その出典は Keigwin（1996））を用いて、全体的に寒冷化の傾向がみられると言いながら、太陽活動の影響で 0.3°C/100年の気温上昇が見られると根拠なしに断言している（かつ矛盾もしている）。

いずれにしても、IPCC の全球の 0.7°C 上昇との値から、都市化の影響として半減させ、さらに太陽活動の影響として 0.3°C を差し引き、「0.1～0.3°C ほど」の上昇量としているのは、武田氏が根拠なく勝手に行った計算に過ぎない。

証拠 2. ここ 100 年は、(日本の)年平均気温は殆ど上がっていない（武田 2008b, p.28）。田舎で観測すれば 0.2°C の気温上昇しか起こらない（武田 2008b, p.32）。

<反論>

2008年4月の段階で、武田（2008b）が引用する近藤純正氏のホームページ上では、日本における平均気温の上昇率に関して 0.2°C /100年としていた計算値を、再度検討し直した結果として 0.67°C /100年に修正している。しかし、2008年10月に出版された武田（2008b）では、恣意的に修正前の古い値

を用い続けているようである。

また、武田氏は、日本における 1990 年代の急激な温度上昇を「バブル・ジャンプ」と呼び、この原因を日本の観測状況（機差）などの特異性に帰している。しかし、海温データでも世界の気温データでも、この武田氏の言う「バブル・ジャンプ」が見られることから、日本の観測状況（機差）に単純に起因するとは言いがたい。なお、これに関して気象庁の「異常気象レポート 2005」では、1990 年代のジャンプの要因を北極振動（Arctic Oscillation: 北極と北半球中緯度地域の気圧が逆の傾向で変動する現象）の影響としている

（http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/pdf/2005_2-2.pdf）。（バブルジャンプという現象自体も、もともとは近藤氏が提唱したものである）

さらに、数点だけの気温上昇が見られない地点を殊更に取り上げる手法もミスリーディングである。

証拠 3. 日本近海の水温も上がっていない（武田 2008b, p.37-42；武田 2008c）

<反論>

武田（2008b, 2008c）では、日本の気象庁による「海面水温の長期変化傾向（日本近海）http://www.data.kishou.go.jp/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html」のデータを用いて、日本近海の水温は上昇していないとしている。しかし、これには下記のような問題点がある。

第一に、気象庁の資料（図 1-3）では、全 13 海域のうち、有意な上昇傾向が見られる 9 海域と、見られない 4 海域とがある。それにも関わらず、武田（2008b）では、「北海道から南下し、三陸沖、関東沖、愛知沖あたりまでは」と有意でない 3 海域のみを取り上げ、海水温に変化傾向が見られないとしている。

第二に、武田氏は、「四国・東海沖南部」に関して、「海の水温が上がっているのは、実は四国より南の海域である」（武田 2008b）と同海域で海温が上昇していること自体は認めるものの、「“日本全体の海の水温”とは言いがたい」（武田 2008b）、と否定的に取り上げている。しかし実際には、前述のように、日本近海の場合、安定してほぼ同様な上昇傾向が見られる海域の方が多い。

第三に、「日本海中部」に関して、戦前戦後のズレの原因を武田は単純に気温ジャンプに求めているが、これは前出の議論 3 証拠 2 で述べたように、北極振動の影響と考えられる。

第四に、武田（2008b）では、「気象庁が恣意的に、トレンドを示す回帰直線が引かれていないグラフを公開している」という主張が展開されている。しかし、気象庁ホームページには、「上昇率が『*』とあるものは、統計的に有意な長期変化傾向が見出せないことを示します。」ときちんと明記されている（図 1-3 参照）。したがって、批判はあたらない。

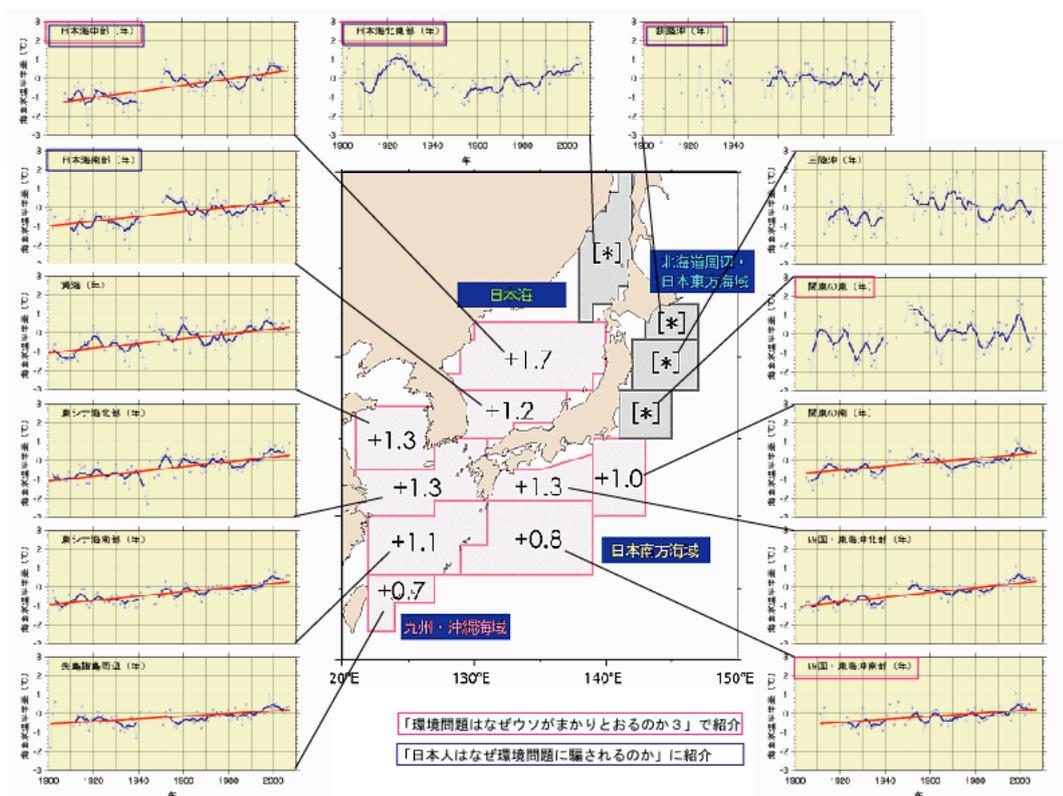


図 1-3. 海面水温の長期変化傾向（日本近海）

出所：気象庁 http://www.data.kishou.go.jp/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html を整理

証拠 4. 観測環境が劣化しており、系統的な温暖化傾向が出ていると疑われる（伊藤 2009；伊藤・渡辺 2008, p. 59-78）

<反論>

観測環境の劣化は確かに問題である。しかし、世界平均気温の変化を計算する際には、周囲と大きく異なったり、大きな不連続があったりするなど明らかに不自然な時系列を示すデータは除去あるいは補正されている（たとえば Peterson *et al.* 1998）。また、地表面積の7割は海洋が占めるので、世界平均気温の変化には海上のデータの寄与の方がより大きい（ただし、海上データにも一部補正が必要）。以上から、観測環境の劣化が世界平均気温変化の推定に与える影響は限定的と考えられる。

証拠 5. 気温が下がっている場所もある。南極圏の温度は 50 年間ずっと横ばいである（渡辺 2005；渡辺 2006；武田 2007a）。

<反論>

世界を探せば気温が下がる傾向の場所もある。しかし、それらは局所的な自然変動によるものであり、それらを全て時間空間的に平均して得られる全体的な傾向として、20 世紀の山岳氷河の大規模な後退や温暖化はほぼ確実な観測事実であって否定しようがない。

また、最近の研究結果では以下のようなことが明らかになっている（Knutson *et al.* 2006）

- 1) 過去 100 年間で寒冷化している地点は（十分なデータが存在する地点の）数%未満に過ぎない
- 2) 特に寒冷化傾向が顕著なのは米国南東部とグリーンランドの南東沖である
- 3) しかしモデルの長期変動における自然変動で検定すると、この両地域の寒冷化トレンドは有意でない
- 4) 長期変動における自然変動を用いた検定により、有意なトレンドと認められる地点はほぼすべて温暖化している

さらに、南極圏の気温は上昇していないのは、むしろ「南極圏の気温上昇は他の地域より遅れる」という専門家の予測と整合的であり、南極の周りの海域で深層との海水の混合が大きいことなどによると考えられる。いずれにしろ、一部の地域の現象（例：気温低下や降雪量の増大）をとりあげて地球全体で起きている傾向を否定する論法は、非常にミスリーディングなものである。

議論 4. 衛星による観測データでは温度上昇が見られない（渡辺 2005, p.92）。気象衛星 NOAA の計測器のデータによる南半球の気温は、25 年間変わっておらず、エルニーニョ現象がなかったら逆に微かに下がり気味である（渡辺 2005, p.89；池田 2006）。

<反論>

ここでいう衛星による気温は、対流圏下層、つまり高さ約 2 km を中心として数 km の厚さをもった層の平均気温である。地上気温（原則として地面・海面から高さ 2 m での気温）と同じではない。対流圏下層気温は気球でも観測されている。2000 年ごろに得られていたデータでは対流圏下層気温にははっきりした上昇傾向がなかった。それは地上気温に上昇傾向があることと論理的に矛盾するものではないが、気候モデルによる予測計算とはくいちがっていた。

しかし、最近の研究（Mears 2005；Sherwood *et al.* 2005）で、衛星観測、気球観測それぞれの観測機器の誤差およびその補正手順を吟味して計算しなおした結果によれば、対流圏下層気温にも上昇傾向が見られる。これでモデルによる予測との矛盾はなくなった（Santer 2005；Hogan 2005；Karl *et al.*, 2006）。

すなわち、モデルによる予測が観測データ処理を訂正するきっかけをもたらしたわけである。しばしば批判されるように、気候モデル開発の過程では、観測データを参照してチューニング（調整）を

行なわざるをえない。しかし、もしそれが無分別に結果の数値を観測値に合わせるようなものであったら、上記のような検証は起こりえなかつただろうし、気候モデルがこのような説得力を持つこともなかつただろう。

議論 5. 2001 年以降、気温上昇が止まっている（赤祖父 2009）。

<反論>

1998 年のエルニーニョによる異常高温などの自然の変動に対する認識不足が、このような誤解を生じさせる原因となっていると思われる。図 2 は、1977 年から 2007 年までの観測された世界平均気温の変化を示す。火山噴火やエルニーニョ（東太平洋の赤道付近で海水の温度が上昇する自然現象）、ラニーニャ（エルニーニョとは反対で、同じ海域の海水の温度が下降する自然現象）などの自然変動に対応した気温変化率の変動があるものの、15 年の変化率で見ると、近年に至るまでほとんど同じ率で気温上昇が続いている。2007~2008 年もラニーニャによる寒冷化が生じた。しかし、現在（2009 年 4 月）、ラニーニャ的状况が持続しているものの、弱まる兆候が見られている（2009 年春以降には終息する可能性が高い）。このため気温上昇傾向が回復してきている（ただし、ラニーニャは、再発の可能性もある。詳細は、次の URL にある気象庁のエルニーニョ監視情報を参照せよ。

http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/kanshi_joho/kanshi_joho1.html）。

（これに関しては議論 10 も参照のこと）

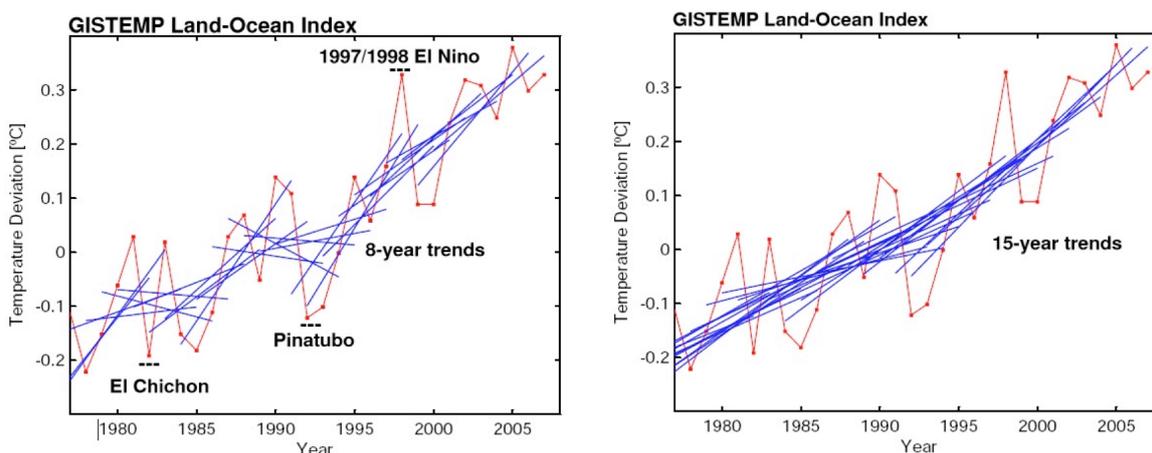


図 2. 1978 年以降の温度変化状況

出所：Schmidt and Rahmstorf（2008）

注：赤が各年の年平均世界平均気温偏差の観測データ。左図の青線は 8 年トレンド、右図の青線は 15 年トレンドをそれぞれ示す。

議論 6. ホッケー・スティック論争で、Mann らは自分たちの復元推定計算結果の訂正記事を出した（渡辺 2005, p.94）。IPCC は、第四次報告書でホッケー・スティック曲線を見放したことについて清算していない（伊藤 2009）

<反論>

ホッケー・スティック論争とは、過去 1000 年の範囲で 20 世紀に急激な温暖化が起きているか否かについての論争であり、Mann *et al.*（1998, 1999）により推定された北半球平均気温の復元曲線の形がホッケー・スティックのように見えることからこの名前がついた。彼らの復元推定曲線はその代表例として IPCC 第三次報告書（2001）にも掲載されており、20 世紀が過去 1000 年間で際立って温暖であることを示す重要な論拠とされた。その後、Mann らは 1998 年の論文に対する訂正記事（Mann *et al.* 2004）を *Nature* 誌に提出したが、これは利用可能であったデータのうちどれを実際に採用したかの記述に間違いがあったというものであり、論文の結果には変更がないと明言している。すなわち、彼ら自身が過去の論文の結論の誤りを認めたものでは決してない。したがって、渡辺（2005）の「悔しませぬの捨てぜりふ」という形容は事実に反している。なお、Mann らの復元推定に関する論争はこの他にもいくつかあり、増田（2005）が整理を試みている。

また、IPCC 第三次報告書以降、過去 1000～2000 年間の気温の復元推定は他の研究グループによっても数多く行なわれてきており、Mann らの仕事ばかりに注目するのは適切ではない。IPCC 第四次報告書（2007）には、IPCC 第三次報告書に掲載されたものも含め、11 種の復元結果が掲載されている（第 6 章の図 6.10）。その中には Mann らの曲線も含まれており、さらに、ホッケー・スティック論争とその後の研究群の整理にも相当の紙面が割かれている（第 6 章、p.466-474）。また、懐疑論では無視されているが、第三次報告書に掲載された Mann らの最良推定値には、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ほどの大きな誤差範囲がつけられている。第四次報告書に掲載された復元結果には、中世から産業革命以前の気温変動が大きいものも多いが、それらにしても、Mann らの復元結果の誤差範囲に含まれている（つまり、Mann らの結果と誤差範囲で一致している）。

ただし、最近の古気温復元結果では、推定された誤差が小さくなってきている。つまり、最近の古気温復元精度の向上により、これまでは誤差に埋もれていた変動が見えてきたということである。したがって、「IPCC が Mann らの結果を見放した」という主張は明白な誤りであり、ホッケー・スティック論争が「清算されていない」という批判も当たらない。なお、これまでの研究結果を総合してみると、1000 年間の前半の気候復元のばらつきはまだ大きいものの、20 世紀後半以降の気温が際立って高いことは共通している。

3.2. 過去および現在の気候変化の原因に関する議論

人為起源の温室効果気体濃度の増加は気候変化の唯一の要因ではない。しかし、20世紀の全球平均地上気温の上昇の大部分を説明する要因である。一方、対立仮説としては、太陽などの地球外部の原因、火山あるいは人為起源のエロゾル（気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子）、気候システム（大気・海洋・雪氷など）の内部変動、などがありうるが、このいずれによっても、気温上昇を説明することは困難である。なお、地域別の気候変化にとっては、温室効果ガスの増加は、必ずしも変化の大部分を説明するわけではない。しかし、温室効果ガス増加という要因を入れた過去の気候変化シミュレーションの結果は、その不確かさの幅の中で観測事実と矛盾しない。

議論 7. 人為的排出二酸化炭素温暖化説によれば、二酸化炭素の大気中濃度上昇によって、平均気温は単調に上昇傾向を示し、その上昇率は近年に近づくほど大きくなる。しかし実際に観測された平均気温の変動はこれとは異なった傾向を見せている。例えば、第二次世界大戦前後の大気中二酸化炭素濃度上昇率が大きくなった時期に、逆に低温化傾向を示している（近藤 2006；Durkin 2007；赤祖父 2008；赤祖父 2009）。

<反論>

地球の平均気温は二酸化炭素濃度に見合った平衡状態に達しているわけではなく、気温変化には様々な因子がある。すなわち、太陽活動や火山といった自然起源因子もあり、メタンやフロンなどの二酸化炭素以外の温室効果ガスも人為活動により増加している。これらと二酸化炭素とが合わさって20世紀の気温上昇の原因となっている（二酸化炭素だけが原因とは、人為的排出二酸化炭素温暖化説をとる研究者の誰も言っていない）。したがって、気温と二酸化炭素濃度がぴったり対応しないのは必ずしも不思議なことではない。第二次世界大戦前後の大気中の二酸化炭素濃度の上昇率が大きくなった時期は、火山噴火などの自然要因（Wigley *et al.* 1997）と人為起源エロゾルの冷却効果（Tett *et al.* 2002；Nagashima *et al.* 2006）が温暖化を打ち消していたという説が有力であり、同時に気候の内部変動という説もある（Andronova and Schlesinger 2000；Knight *et al.* 2005）。

このような過去の事象は、気候モデルによる20世紀の再現実験によってある程度示すことができる。例えば、仮に二酸化炭素やエロゾルなどの人為起源物質の増加が無いという条件でシミュレーションを行うと、（自然の変動要因と気候の内部変動だけでは）20世紀後半の気温上昇の大きさは再現できない（図3）。これらは、20世紀後半においては、二酸化炭素が「原因」で温度が「結果」であることを強く示唆している。

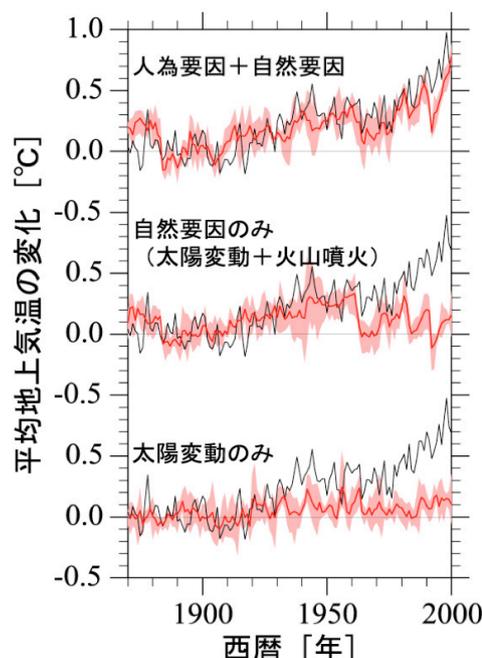


図3. 気候モデルによるシミュレーション結果

出所：Shiogama *et al.* (2006) を改変

なお、気候変動を予測する気候モデルは、まず過去および現在の事象（例：様々な要因による温度変化）を事後的にうまく再現できるかどうかによって検証される。また、このような検証を経て淘汰されてきた最新の気候モデルは、例えば温度上昇の地域差などもかなり正確に再現している。

実は、前述のように、長い間、モデルが予想する地球上空の温度上昇と気象衛星および気球によるデータによる温度観測のずれが問題となっており、懐疑論者の格好の攻撃的となっていた。しかし、最新の知見では、衛星データなどの方に（補正の）誤りがあったことが明らかになっている（本稿の議論4を参照）。すなわち、前にも述べたように、結果的にモデルの予測が現実の観測の誤りを指摘したことになり、この事はモデルの結果を現実の数字に近づけるようなチューニング（調整）が無分別にはなされてはいないということの間接的証明にもなっている。さらに、気候学者は、気候モデルを用いて1991年に起きたフィリピンのピナツボ火山噴火後の気温低下を噴火直後に予測することにも成功した。すなわち、限られた数の事象のみではあるものの、過去だけでなく将来予測に関してモデルは一定の検証を受けている。

ただし、現時点でモデルの検証が「十分」であるかは誰にも判断できない。今後もモデルと観測データの不一致に対して、モデルを改良するか、観測データの解釈を再検討するかという営みが不断に続くのであるが、それは真つ当な「科学」の営みに他ならない。重要な点は、世界中で独立に開発された多くのモデルがこのような不断の検証を受け続けており、現時点でその全てが将来の温暖化傾向を予測していることである。

議論 8. 最近の温暖化は主に太陽活動の影響である。

証拠 1. 過去においては太陽活動のレベルを示す黒点数と温度との相関関係が観られる（池田 2006；近藤 2006；伊藤・渡辺 2008, p.145-154）。

<反論>

確かに過去の気候変動においては太陽活動が大きな影響を与えていると考えられ、IPCC AR4 も、過去における太陽活動の影響を否定してはいない。図 4-1 は過去の太陽放射量の経年変化を示すが、この図が示すように、重要なポイントは、20 世紀後半においては太陽活動が活発化する傾向は見られず、20 世紀後半の急激な温暖化は太陽活動では説明できないことである（Solanki and Krivova 2003；Foukal *et al.* 2006）。

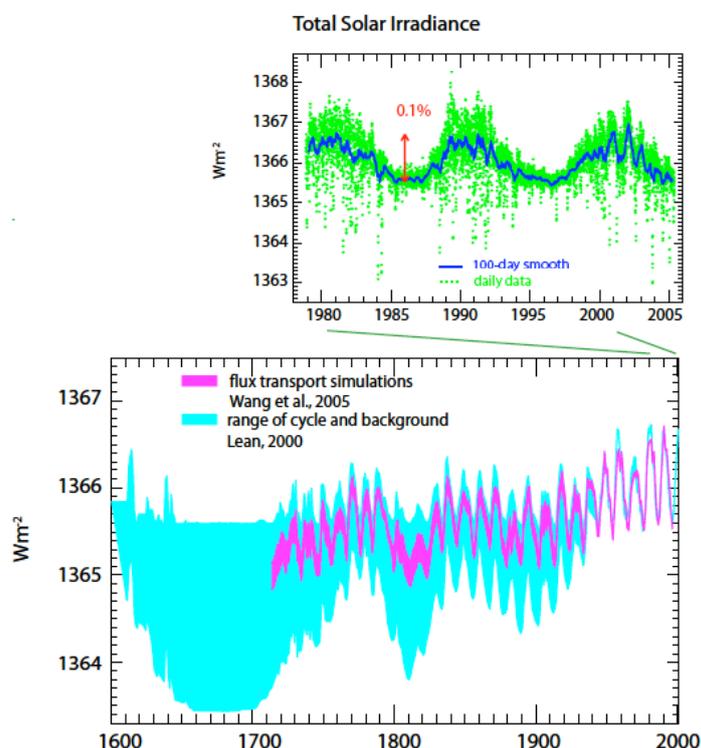


図 4-1. 太陽活動の大きさの推移

出所：Lean (2006)

注：上の方の図は、Fröhlich and Lean (2004) による太陽放射量の観測結果を示す。下の方の図では、水色の陰影部がLean (2000) によって再構築された過去の太陽放射量の変化であり、11年の移動平均を示している。もう一つのピンク色の折れ線グラフは、Wang *et al.* (2005) によるシミュレーション結果である。これらから、20世紀後半においては太陽活動が活発化する傾向が見られないことが分かる。

第3章 温暖化問題の科学的基礎

このことは気候モデルを用いたシミュレーションでも示唆されている（前出の図3）。なお、最近では衛星観測以前の太陽放射量経年変化の推定に関して、11年周期よりも長期の変化は過大評価であるという考えが強まっており（Lean *et al.* 2002；Wang *et al.* 2005）、実際には太陽活動が気候に及ぼす影響はさらに小さい可能性がある。

なお、Solanki *et al.*（2004）は最近太陽活動が異常に強くなっていると述べているが、Muscheler *et al.*（2005）はとくに異常なレベルではないと反論している。ただし、太陽活動が地球温暖化の主要な要因ではないという点については、これらは同じ見解が述べられている。太陽活動の影響に関しては、詳細な総説としては Gray *et al.*（2005）を参照せよ。

証拠 2. 宇宙線の量と温度との相関関係が観られる（伊藤 2003；伊藤・渡辺 2008, p.154-155；丸山 2008a；丸山 2008b；丸山 2009）。

<反論>

宇宙線が雲の形成に影響をおよぼし、それが20世紀後半の気温の上昇につながっているという理論は、しばしば人為的排出二酸化炭素温暖化説を批判する材料として用いられる。しかし、宇宙線と雲の形成との因果関係に関しては、1) 理論的な証明が不十分である、2) 宇宙線の量に関して、（雲の形成による温度上昇を説明するのに必要な）長期的傾向が見られない、3) この説の提唱者である論文の計算自体に問題がある、なども指摘されている（Damon and Laut 2004）。

また、1) 宇宙線と相関が高いとされる下層雲量は衛星の赤外バンドのみから求めたものであり、そもそも赤外のみから求めた下層雲量は現実の雲量のよい指標でない、2) 可視+赤外から求めた下層雲量（現実との対応がよい）と宇宙線との相関は悪い、3) 赤外のみから求めた下層雲量と宇宙線の相関もデータを1994年以降に延長すると相関が悪くなる、などが明らかになっている（図4-2）。

さらに、1994年以降の衛星データ処理に問題があるという指摘もなされたが、その可能性が低いことを示す研究結果も発表されている（Sun and Bradley 2004）。

したがって、研究者の間では、宇宙線の量と温度との相関関係は信頼性がそれほど高くない一つの仮説にとどまっている。

なお、最新の総説としてVerheggen（2009）がある。そこで論じられているPierce and Adams（2009）の雲微物理の数値モデルによる研究によれば、宇宙線の量を20世紀にあった程度に変化させた結果生じる雲凝結核の数の違いは、0.1%程度にすぎなかった。

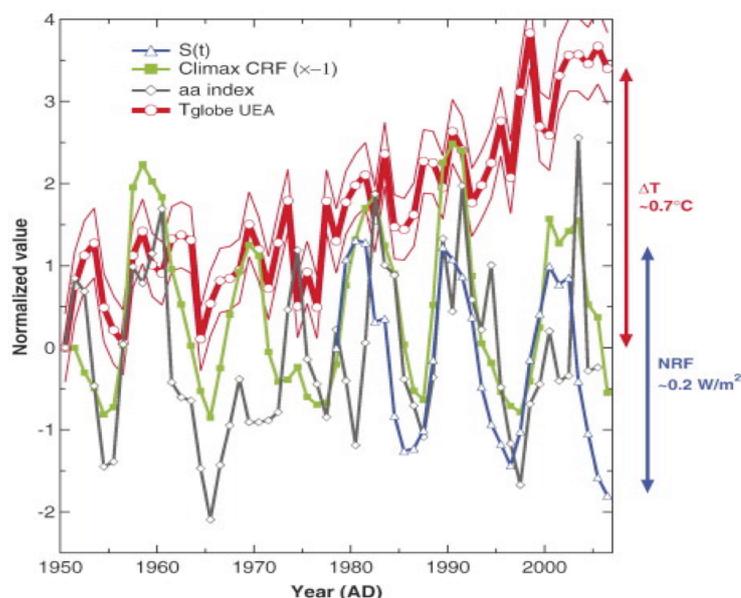


図 4-2 太陽活動に関する 3 種類の指標と全球平均地上気温との比較

出所：Bard and Delaygu (2008)

注：青色は太陽放射量、緑色は宇宙線照射量（他の指標との比較を容易にするため符号が反転されている）、灰色は太陽磁気活動の指標（aaインデックス）、赤色は全球平均地上気温（細い赤線は95%の信頼区間）。1950年以降、全球平均地上気温には顕著な上昇傾向が見られるが、太陽活動に関する指標にはそのような傾向は見られない（ただし、太陽放射量のデータは1978年以降）。縦軸は規格化された数値であるが、図の右側には全球平均地上気温の変化（ ΔT ）と太陽放射量に関する正味放射強制力（NRF）の変動幅が示されている。

議論 9. 過去約 2000 年間の気温変動に比べれば、過去約 100 年間の温暖化は異常なものではない。（丸山 2008b）。

<反論>

丸山 (2008b, p.183-186) は、1 個体の屋久杉の年輪から得られた安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) のデータを全球平均気温の指標として独自に解釈することにより、地球の気候が太陽活動や宇宙線照射量に連動していると主張し、過去 100 年程度の地球温暖化の傾向が「異常」ではないと結論づけている。丸山が用いた $\delta^{13}\text{C}$ データは Kitagawa and Matsumoto (1995) によるものの、この解釈自体はまったく丸山氏独自のものである。

しかし、まずこの屋久杉は 1970 年に伐採されたものである (Kitagawa and Matsumoto 1995) ため、そもそも近年の急激な温暖化傾向について論じる目的には使えない。また、1970 年以前のデータに関しても、1) 1 個体の屋久杉が大気中 CO_2 の $\delta^{13}\text{C}$ の変動を記録しているか、2) 大気中 CO_2 の $\delta^{13}\text{C}$ は全球平均気温を反映して上下するか、という 2 つの問題に答えないかぎり、上記のような丸山氏独自の解釈にもとづいた議論は成立しない。以下では、この 2 つの問題について詳しく検証する。

問題 1. 屋久杉は、大気中 CO₂ の δ¹³C の変動を記録しているか？

実測される以前の大気中 CO₂ を最も正確に保存しているものは、過去の空気を閉じこめた氷床である。図 5 に示すように、南極氷床コアの分析結果によれば、西暦 1200~1800 年における大気中 CO₂ の δ¹³C 変動の振幅は 0.3 パーミル程度である (Francey *et al.* 1999)。これに比べて、Kitagawa and Matsumoto (1995) が分析した屋久杉 1 個体の年輪における δ¹³C の変動幅は 1.5 パーミル程度と、大気 CO₂ の変動よりはるかに大きい (なお、日本地球惑星科学連合大会 2008 年 5 月 28 日の丸山氏の講演要旨では、±3 パーミルの変動である [変動幅は 6 パーミル] という誤った数値が述べられている)。すなわち、少なくともこの個体に関しては、大気 CO₂ の変動とは異なる、その木が育った環境からの影響が圧倒的に大きいことが明らかである。また、古気候学の常識的に考えても、1 本の樹木年輪のデータから全球的な変動を再現することは不可能である。

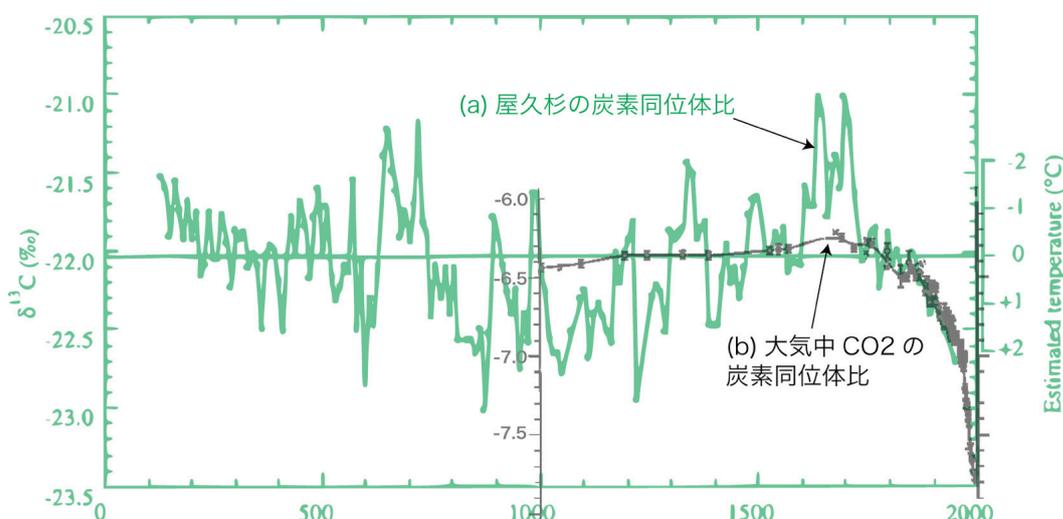


図 5. 屋久杉(緑線)と大気中 CO₂(黒線)の安定炭素同位体比の比較

注：横軸は西暦年。(a) の緑線は、Kitagawa and Matsumoto (1995) によって分析された屋久杉 1 個体の年輪における δ¹³C の推移を示している。図の右側には、気温の指標と見なすことによる温度偏差の目盛りが付加されているが、これは屋久島における産業革命以前の気温変動を推定したものであり、全球平均気温の変動を示すものではない。(b) の黒線は、南極氷床コアの分析による過去 1000 年間の大気中 CO₂ の δ¹³C (Francey *et al.* 1999)。産業革命以降は、人為起源の (δ¹³C が低い) CO₂ 放出により、大気中 CO₂ の δ¹³C が急速に低下してきていることが明らかであり、屋久杉の δ¹³C にもこれと同様の変化が見られる。

問題 2. 大気中 CO₂ の δ¹³C は、全球平均気温を反映して上下するか？

丸山 (2008b) は、気温が上昇すれば植物の光合成が活発になり、それにとまって δ¹³C は上昇する (気温が低下すれば δ¹³C も低下する) と主張している。その根拠として、植物に含まれる炭素は δ¹³C

第3章 温暖化問題の科学的基礎

が低いため、植物バイオマスが増えると大気中に残される CO₂ については $\delta^{13}\text{C}$ が上昇すると考えられる、と主張している。しかし、大気中 CO₂ の $\delta^{13}\text{C}$ が全球平均気温と連動する（正の相関を持つ）というのは仮説にすぎず、その真偽については検証する必要がある。これまでの研究によれば、考慮する時間スケール（あるいは主要な役割を果たす過程）の違いにより、大気 CO₂ の $\delta^{13}\text{C}$ と全球的な気温との相関は異なることが明らかになっている。したがって、時間スケールによっては符号が逆にもなり得る。両者の間に単純な相関を仮定するのは不適切である。

数年～数百年スケールでは、全球的な寒冷化が起こると、陸上植物のバイオマス量が減少する効果よりも、土壌中の微生物の呼吸や有機物の分解が抑えられる効果が勝ると考えられ、陸上生物圏全体では正味で CO₂ を吸収することになる (Trudinger *et al.* 1999 ; Jones and Cox 2001 ; Lucht *et al.* 2002)。その結果、大気中 CO₂ の $\delta^{13}\text{C}$ は上昇するため、丸山の仮説とは変化の方向が逆になる。

一方、約 18000 年前から約 11000 年前にかけて（氷期から間氷期への移行期にほぼ相当）、全球規模で急激な温暖化が起こり、大気中 CO₂ 濃度は上昇したが、同時に大気中 CO₂ の $\delta^{13}\text{C}$ も上昇した (Smith *et al.* 1999)。この期間では、全球平均気温と連動して $\delta^{13}\text{C}$ が上昇したことになるが、陸上生物圏だけではなく海洋も重要な役割を果たしていたと考えられる。

さらに重要なことに、産業革命以降においては、($\delta^{13}\text{C}$ が低い) 化石燃料等の人為起源の CO₂ が大気に加わったことにより、大気中の $\delta^{13}\text{C}$ が大きく低下してきている (図 5)。このような変化は屋久杉の $\delta^{13}\text{C}$ にも反映されており (Kitagawa and Matsumoto 1995)、これを気温変動の指標であるとする解釈は完全な誤りである。

以上より、丸山 (2008b) の独自の解釈（「1 個体の屋久杉の年輪から得られた $\delta^{13}\text{C}$ データは全球気温平均の指標である」）自体に何重もの誤りが含まれており、この誤った解釈に基づいた様々な主張は当然成り立たない。

議論 10. 最近の温暖化は自然変動にすぎない (赤祖父 2008 ; 赤祖父 2009)。

ここでは、主に江守 (2009) に基づいて、まず自然変動に関する全体的な反論を述べ、次に個別の論点について反論する。

<全体的な反論コメント>

自然変動といっても、「自然起源の強制力への応答」（太陽活動変動や火山噴火への応答）と「気候システムの自励的な内部変動」（エルニーニョ南方振動、北極振動など）を区別する必要がある。赤祖父 (2009) で述べられている自然変動は、1) 上のどちらにあたるか、2) 前者であれば強制力は何か、3) 後者であればどのような構造の内部変動か、などが明確にされていないので、次に紹介する IPCC の解釈の対立仮説として科学的に評価することがむずかしい。

IPCC が 20 世紀後半以降の温暖化の大部分が人為起源である可能性が非常に高いと結論した主な根

第3章 温暖化問題の科学的基礎

拠は、自然起源強制力のみを与えた気候モデル計算では観測された気温上昇が再現できず、人為起源強制力も与えると再現できるということである。この際、内部変動の不確実性、強制力（特にエアロゾルの効果）の不確実性、気候モデル（気候感度）の不確実性が当然ありうるものの、人為起源強制力を与えた場合は不確実性の範囲内で観測と整合的であり、自然起源のみの場合は不確実性を考慮しても観測と整合的でない、という点が重要である。現時点においては、他の仮説にこのような定量的な整合性を客観的に議論できるものは存在しない。

<個別の論点に対する反論コメント>

証拠1. 過去の温暖化の大部分は小氷河期（14世紀半ばから19世紀半ばにかけて続いた寒冷な期間）からの回復であり、IPCCはこれを無視している。小氷河期の原因はまだ誰にもわからない（赤祖父 2008；赤祖父 2009）

<反論>

IPCC報告書（WG1 AR4, 9.3.3節）には、小氷期（赤祖父氏のいう小氷河期）を含む過去700年の北半球の気温変化を太陽・火山等の外部強制力によって整合的に説明できることが示されている。もちろん、これは過去の気温および強制力の復元には大きな不確実性があり、その幅の内で整合的であるという意味である。しかし、20世紀後半の気温上昇は、不確実性を考慮しても、温室効果ガスの増加がないと説明できないのである。

もし小氷期からの回復の原因がわからないとするならば、その要因が20世紀後半も続いていると考える根拠は薄弱である。またその原因を太陽あるいは火山と推測するとすれば、20世紀後半にはその変化傾向は観測されていない（太陽については議論8の反論参照）。

証拠2. IPCCでは20世紀前半の温暖化とその後の寒冷化が考察されていない（赤祖父 2009）

<反論>

前述のように、IPCC 報告書（WG1 AR4, FAQ9.2）には、自然および人為の強制力を与えた気候モデル計算により、1940年代の海上のピークを除いて、観測された気温変化を再現できることが示されている。

また、1940年代の海上のピークについては、海面水温の観測方法の変化による人為的なものであることが最近指摘されている（Thompson *et al.* 2008）。

したがって、この問題が補正されると、1940年代のピークは今まで考えられていたより小さくなり、気候モデルの結果に近づくことになる。（ただし、以上の説明は以下に述べる PDO などの自然変動の存在を否定するものではない）。

なお、20世紀前半の温暖化についてまだ不明な点があるのは確かだが、過去にさかのぼるほど気温変化も強制力もデータの不確実性が大きくなるので、20世紀前半の温暖化が解明されなければ後半の説明もできないとはいえない。

証拠3. IPCCはPDOなどの準周期変動を無視している。準周期変動の原因はまだ誰にもわからないので気候モデルに教えることができない（赤祖父 2008；赤祖父 2009）

<反論>

IPCC報告書で将来予測に用いられている気候モデルは、PDOなどのいくつかの自然変動を再現することができている（IPCC WG1 AR4, 8.4.2節）。PDOは内部変動モードなので、これを再現するためにモデルに「原因」、すなわち外部強制力を教える必要はない。大気と海洋の方程式を素直に解けば、PDOは勝手に現れる。ただし強制されたものではないため、その位相（いつ正になっていつ負になるか）は予測できない。PDOは「カオス的である」と言われるが、それは、初期条件が少し違うだけでPDOの位相が大きく違うことがあることをさしている。

注：PDOは、Pacific Decadal Oscillation（太平洋十年規模振動）の略で、大気と海洋が結びついて起こる気候の内部変動である。十年規模・数十年規模振動（decadal / multidecadal oscillation）と呼ばれるものの1つであり、十年から数十年の周期を持つ。他の十年規模・数十年規模振動には、大西洋数十年振動（Atlantic Multidecadal Oscillation : AMO）がある。

証拠4. 近年、世界平均気温は低下しているので、気温上昇というIPCCの予測はすでに外れている（赤祖父 2009）

<反論>

近年10年程度だけに注目すると世界平均気温が上昇していないように見えるのは確かである（本稿議論5を参照のこと）。そして、その原因としてPDOが関係している可能性があるという指摘ももつともである。しかし、上（証拠3の反論）に述べたように、IPCCに採用された予測計算ではPDOの位相を再現できないのは当然であり、その部分に注目してIPCCの予測が外れたという批判は的外れである。

PDOはカオス的な内部変動であるため、気候モデル計算の結果のPDOの位相はまちまちである。多数の計算の平均をとると、内部変動は互いに打ち消されて、温暖化によるほぼまっすぐなトレンドが残る。この平均化されたものを評価するには、現実のデータも内部変動を消した形で見るべきである（現実には1つしかないなので時間軸上で移動平均するくらいしか手段がないが）。

証拠5. IPCCは100年間で6°C上昇するとしている。それならば、10年間で0.6°C上昇していないとおかしい（赤祖父 2009）

<反論>

IPCC AR4の100年間の予測計算の結果は、排出量シナリオによる幅と気候モデルによる幅をもっている（江守 2008の4章1節を参照せよ）。また、6°Cというのは排出量が大きいシナリオと感度の大きめの気候モデルの組み合わせで出てくる値である。ちなみに、近未来の気温上昇について、IPCCでは10年間で平均0.2°Cのペースと予測している（AR4 WG1, TS.5.1）。

証拠6. IPCCでは、大気中水蒸気量はモニターされていない（赤祖父 2009）

<反論>

IPCC WG1 AR4では3.4.2節で大気中水蒸気量の変化のレビューがされている。その後、1987年以後の全球海上の水蒸気量の変化傾向が人為的な温暖化のモデル計算と整合的であることを示した研究もある（Santer *et al.* 2007）。

議論11. 20世紀の間に、グローバル・ディミング（地球暗化）と呼ばれる現象が起きている。これは地上に達する太陽放射の減少であり、原因は硫酸エアロゾルと考えられている。この硫酸エアロゾルは、人為起源の温室効果ガスによる温暖化よりも大きな寒冷化をもたらしているはずである。もし、それにもかかわらず気温が上昇しているのならば、温室効果ガス以外にそれよりも大きな温暖化をもたらす要因が働いているはずである。（伊藤2005；伊藤・渡辺2008, p.127-130）。

<反論>

20世紀後半で日射が減少傾向にあるという観測事実から気温低下をもたらすと考えられているグローバル・ディミングに関しては、1) 観測された日射の減少は、全球的な現象ではなく、局地的または地域的な現象である（Alpert *et al.* 2005）、2) 日射の観測値は1985年頃を境に減少傾向から増加傾向に転じており、先進国で大気汚染物質の排出規制が始まった時期と合致する（Wild *et al.* 2005）、などの研究結果が出ている。したがって、グローバル・ディミングの効果は、今まで議論されてきているエアロゾルの効果でほとんど説明できると考えられる。なお、近年の温暖化の議論や実際のモデル計算では、エアロゾルや対流圏オゾンの影響は、二酸化炭素と並んでその効果がすでに定量的に考慮されており、その大きさも、二酸化炭素による温暖化を打ち消すようなものではない。

議論12. 大気汚染が温暖化の原因となっている可能性がある（槌田 2005b；槌田 2006）。

<反論>

大気汚染物質であるエアロゾルの気候影響は種類によって異なる。エアロゾルは、それ自身が太陽光を散乱・反射するだけでなく、雲凝結核となって雲のアルベドや寿命を変化させ、地上気温を下げる効果を持つ。一方、煤のように太陽光をよく吸収するエアロゾルは、空気を暖め、場合によっては地上気温を高める。また、雪氷面などに付着して地表面アルベドを変化させることにより、地上付近の大気を暖める。しかし、地上気温を高めるこれらの効果は、硫酸液滴などのエアロゾルによる冷却効果と比べて数分の一程度であると考えられている（Hansen *et al.* 2005b）。また、エアロゾルが重要だからといって、二酸化炭素などの気体成分が重要でないわけではなく、両方の効果は共存している。気候モデルのシミュレーションによれば、20世紀後半の地上気温経年変化は、第1に二酸化炭素などの気体成分、第2に（大気汚染による）硫酸液滴のようなエアロゾルを考慮するとよく説明できる（Tett *et al.* 2002）。煤や土壌粒子などのエアロゾルの効果はそれらに比べれば副次的と思われる。

3.3. 炭素循環に関する議論

化石燃料の燃焼によって排出された二酸化炭素の半分以上が大気中にとどまっており、それが20世紀に起きた大気中の二酸化炭素濃度の増加の主要な原因である。今後も、化石燃料を使い続ける限りは、大気中にとどまる比率は変わるかもしれないものの、ほぼ同じことが続くはずである。したがって、約100年の時間スケールの大気中の二酸化炭素の変化を、ここでとりあげる懐疑論のように、気温・水温の上昇の結果として、あるいはその他の自然要因によって説明することは困難である。

議論 13. 二酸化炭素の温室効果による地球温暖化はなく、気温上昇が二酸化炭素濃度上昇の原因である（榎田 2005b；榎田 2006；近藤 2006；榎田 2007）。

証拠 1. 例えば、Keeling *et al.* (1989) のグラフ（図6）によると、気温の変化は二酸化炭素濃度の変化よりも半年早く現れる（榎田 2005；榎田 2006；榎田 2007；伊藤 2007；武田 2008b；伊藤 2009）。

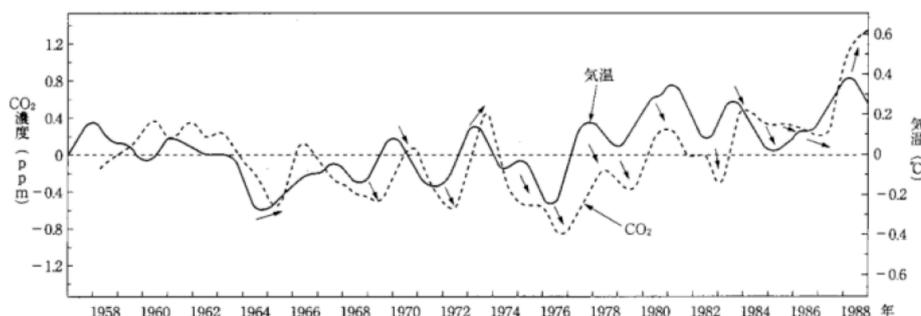


図6. 観測値から長期的上昇傾向と季節変化を取り除いた大気中二酸化炭素濃度変動と気温変動の関係

出所：根本（1994）, p.151

<反論>

図6は、Keeling *et al.* (1989) による一つのグラフを根本（1994）が日本に紹介したもののだが、この図をもって二酸化炭素の変動が常に気温に追従すると考えるのは拡大解釈である。なぜならば、このグラフは、キーリングが、二酸化炭素濃度の長期的な上昇傾向（人間活動の影響）を除いた場合の気温上昇と二酸化炭素濃度上昇との関係を明らかにする目的で作成したグラフであり、ある特定の時間スケールにおける気温上昇と大気中の二酸化炭素濃度上昇との相関関係を示したものである。グラフでは温度上昇が二酸化炭素の濃度上昇に先行しているように見える理由としてキーリング自身が「エルニーニョによる二酸化炭素濃度上昇を示していると考えられる」と明言している（キーリン

第3章 温暖化問題の科学的基礎

グがどのような意図で図6を作成したかについては、彼自身の日本での講演録である Keeling (1993)、さらに温暖化問題におけるキーリングの業績に関しては、キーリング追悼講演録でもある Hansen (2005a) をそれぞれ参照してほしい。

なお、関連分野の専門家の多くにとって常識ではあるが、キーリング自身は生涯温暖化論を支持していたことを付け加えておく。榎田 (2006) はキーリングが温暖化論支持から不支持の立場に転向したかのような印象を与える記述をしているが、Keeling (1993) は講演録で大気中二酸化炭素濃度の長期的上昇が人間活動の影響であると述べており、榎田 (2006) の主張とは相容れない。

また、河宮 (2005) にあるように、エルニーニョなどの自然起源による二酸化炭素濃度変動振幅は 0.5 ppm 程度、変動の特徴的なタイムスケールは数年程度である。例えば、大気大循環モデルを用いた地球温暖化実験において、100年程度のタイムスケールで二酸化炭素濃度が350ppm から700ppm に倍増したときの典型的な昇温幅が2～6度である (IPCC第三次報告書) ことを考えると、図6の振幅・タイムスケールは非常に小さなものであり、現在起きている温度上昇にはほとんど影響を与えないレベルである。このような場合、二酸化炭素は受動的な大気成分として振る舞い、気温や降水といった環境条件の変動の影響を受けそれらより位相の遅れた変動を示す。一方、20世紀後半に起きている地球温暖化問題の場合は、大きな濃度変化が長期間にわたって続くため放射バランスの変化を通じ気温を能動的に変える要因として働く。

さらに、図6の関係を敷衍して二酸化炭素濃度の長期的上昇を説明しようとする、25度といった大幅な気温上昇を仮定せざるを得なくなるが、もちろんそのような気温上昇は観測されていない。本稿冒頭で紹介した討論会で筆者らはこの矛盾について榎田氏に問いただしたが、明確な回答を得ることはできなかった (河宮・江守 2006)。

以上のようなやりとりがあった後に、近藤 (2006) は、彼の図2.14 (本稿では図7) を用いてCO₂濃度の変化は海面水温変化によって支配されていると述べ、榎田 (2006) の主張を支持した。

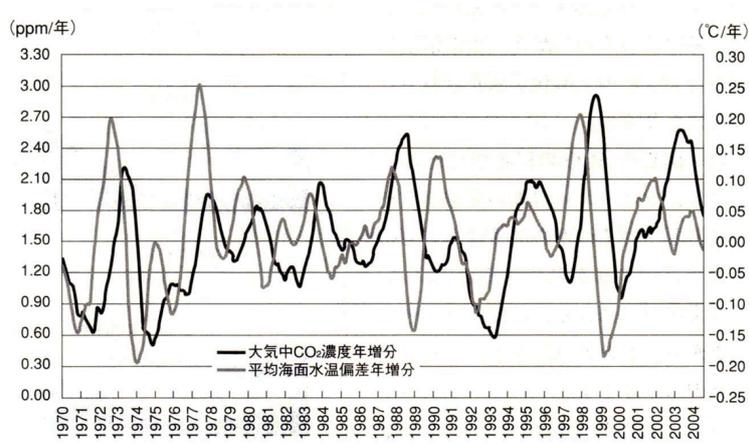


図7. CO₂濃度変化と海面水温変化

出所：近藤 (2006) の図 2.14

第3章 温暖化問題の科学的基礎

この図7ではCO₂濃度変化の長期傾向は情報として含まれているものの、時間微分と同等の操作を施すことにより見かけ上長期傾向の印象を弱くしている。以下に示すとおり、この図を丁寧に見れば、CO₂濃度変化の長期傾向を海面水温の変化によっては説明できないことが明らかである。

まず、槌田(2006)や近藤(2006)の主張によれば、水温が低下した1~2年後にCO₂濃度が下がるはずであることを確認しておく。ここで近藤(2006)の図7で水温のグラフを見ると、水温が上昇している期間と下降している期間を両方含むことが分かる。一方CO₂の年増加率のグラフを見ると、負の値には決してならない。これはグラフに示された全期間を通じ、CO₂が増加していることを意味する。つまり、水温の上昇・下降に関係なくCO₂が増加しているというこのことを図7は表している。この事実は槌田(2006)や近藤(2006)の主張と矛盾する。なお、図6や図7に見られるような、CO₂濃度が気温・水温に遅れて変化する関係は、長期成分を取り除いたり、時間微分に同等な操作をしたりなど、何らかの処理を施して2者の関係を強調しない限り明瞭には見えてこない。

なお、1990年代の平均的な人為起源CO₂排出量は6.3GtC/yrである。この排出量のうち半分程度が海洋や森林などに吸収された場合に対応する大気中CO₂濃度増加率を計算すると、1.5ppm/yrほどになる。これは図7における1990年代の平均的なCO₂濃度上昇率とほぼ一致している。このことは、図7に見られる「水温の上昇・下降に関係ないCO₂濃度上昇」が人為起源CO₂排出によるものである、という考え方を支持するものである。

一方、図8は、季節変動の除去以外には特別なデータ処理を行わず、年平均のCO₂濃度・海面水温(SST)の時間変化をもっとも単純な形で比較してみたものである。

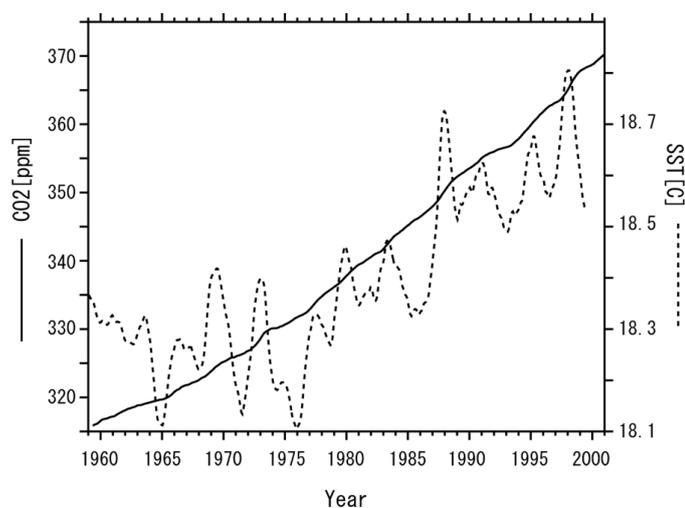


図8. マウナロアにおいて観測されたCO₂濃度(実線、Keeling and Whorf 2005)と全球平均海面水温(破線、Rayner *et al.* 2003)の時間変化

注：両者とも12ヶ月移動平均を用いて季節変動を取り除いてある

第3章 温暖化問題の科学的基礎

この図8から、槌田（2006）や近藤（2006）の主張と異なり、海面水温の上昇・下降に関わらず CO₂ 濃度は一貫して増加していることが分かる。すなわち、この海面水温の変化に無関係な CO₂ 増加が、人為起源 CO₂ の排出によるものなのである。

なお、このような説明をすると、「図8は人為起源 CO₂ による温暖化説とも矛盾するのではないかなぜなら、この図では CO₂ 濃度が上がっているが、海面水温が下がっている時期がたくさんあるから」という質問を受けることがある。こうした疑問に対しては、次のように答えることができる。すなわち、気候を決める要因の中には、エルニーニョのように周期的に気温・海面水温を上げ下げするものや、大規模な火山噴火のように一時的に気温・海面水温を下げるものが含まれる。つまり、観測される気温・海面水温の時間変化は、CO₂ 濃度の上昇に対応してゆっくり上昇する成分と、上記のような自然変動によって上下動を繰り返す成分とが含まれる。前者による上昇の速さは後者による上下動の速さより遅いため、一時的に気温が下がる時期が多数見られる。したがって、図8の海面水温の時間変化においても、短い周期で変動する成分をのぞいて長期的傾向を見れば、1970年代以降は上昇傾向にあることがわかり、この上昇傾向は、人為起源の温室効果気体排出によるものである可能性が非常に高いと考えられている（議論7に対する反論も参照のこと）。

また、近年のCO₂増加が人為起源排出によるものであることをより端的に示すデータとして図9を掲げる。

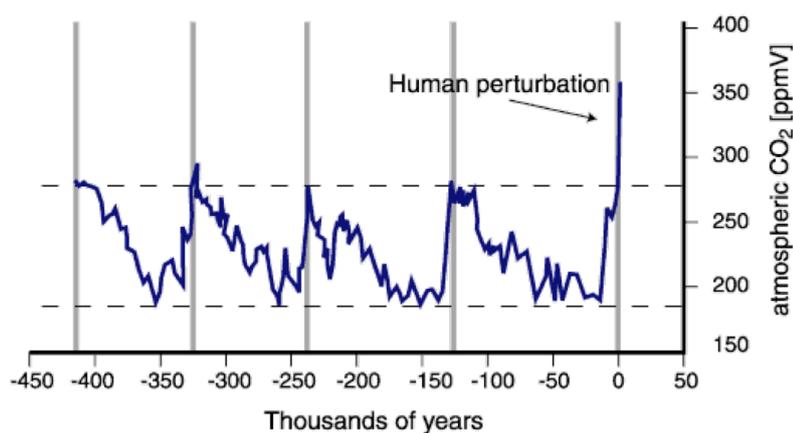


図9. ポストークのアイスコアから得られた CO₂ 濃度 (Petit *et al.* 1999) と、最近の CO₂ 濃度直接観測データ (Keeling and Whorf 2005) をつなげて示した時系列グラフ

出所：Steffen *et al.* (2003) による図を改変

第3章 温暖化問題の科学的基礎

これは氷床コアからとられた過去40万年のCO₂濃度の変化と、マウナロアなどで測定された20世紀後半以降のCO₂濃度の変化とをつなげて示したものである。この図9から、近年は過去40万年にない勢いでCO₂濃度が上昇していることが分かる。このCO₂濃度上昇を環境変動の結果として説明しようとする、氷期-間氷期サイクルに匹敵する環境変化が産業革命以後に起こっていなければならない。近年温暖化の兆候が検出されているとは言え、それほどまでに大きな変化は観測されていない。産業革命以後のCO₂濃度上昇は、人間活動の結果と考えるのが妥当である。

長期変動成分を取り除くと図6のようなCO₂濃度と気温のラグ付き相関が見られる理由についても概略を説明しておく。

まず、この場合の気温変動の支配的要因となっているのはエルニーニョである。現在の知見では、エルニーニョ発生で気温が上がったときにCO₂濃度が増加する仕組みとして、1) 高温化がもたらす干魃による陸域生態系の生産力低下、2) 昇温による土壌有機物の分解促進、3) 乾燥による森林火災の増加、などが考えられている。なお海洋については、後述するように、エルニーニョ発生年にはCO₂放出が低減することが実際の観測によって明らかになっている（本議論の証拠5を参照せよ）。すなわち、エルニーニョによる海面温度上昇はあるものの、「（人為的排出二酸化炭素温暖化説を否定する論者の多くが証拠を示さずに主張しているような）海面温度上昇によって海面からのCO₂が放出され、それが大気中のCO₂濃度上昇の主な要因となっている」という考えは誤りである（河宮 2005）。

最後に補足するが、世界の「人為的排出二酸化炭素温暖化説」否定論者のうちでも、このグラフ（図6）を使って「温度が原因で濃度が結果」という論を立てるのは、私たちの知る限り、日本の論者のみである。これには根本（1994）の影響力が大きかったと思われる。なお、根本順吉氏の気候変化の見通しおよびその原因に関する見解は、池田（2006）も指摘しているように、各著作の時点ごとに異なる。

証拠 2. 南極氷床コアのデータによれば、氷期・間氷期サイクルに伴う大気中二酸化炭素濃度の増減は、気候変動に対して遅れていた。したがって、気候変動が二酸化炭素濃度を変えるのであり、二酸化炭素が気温を変えるのではない（Durkin 2007；武田 2008b）。アル・ゴアの映画『不都合な真実』ではその逆のことが示唆されており誤りである（伊藤 2007；伊藤 2009）。二酸化炭素大気中濃度の上昇が原因で、結果として気温上昇が起こっているものと仮定すると、二酸化炭素やメタンの大気中濃度を周期的に変動させる地球システムのイベントを示すことが必要（近藤 2006）。

<反論>

前述のように、人間活動の影響以前に二酸化炭素やメタンの大気中濃度を増加させていた要因は、もちろん気候変動であってもよく、これも含めて、気候学者は過去20年以上にわたり以下の3つを同時に認めている。

- 1) 気候が原因で二酸化炭素濃度が変わる

第3章 温暖化問題の科学的基礎

- 2) 二酸化炭素濃度が原因で気候が変わる
- 3) 近年の地球温暖化は、2) が大きな原因である

まず、強調したいのは、1) は 2)、3) と両立するので、1) を認めたら最後、2) も 3) も棄却されるという論理は成り立たないことである。あくまでも 20 世紀後半の温度上昇に関しては人為起源の温室効果気体が主な原因であるということであり、それ以前の過去において、温室効果気体以外の原因により地球規模の気候変動が起こったことは明らかである。また、気候変動が原因で二酸化炭素濃度が変化した場合が数多く存在することも明らかである。

氷期から間氷期に移る「退氷期」においては、二酸化炭素濃度の上昇は南極の気温上昇に対して数百年ほど遅れていたことが、氷床コア研究から分かってきた。退氷期とは、約 10 万年に一度、地球の平均気温が 5℃ほど温暖化したとともに、カナダや北欧などを覆っていた分厚い大陸氷床が融け、海面が約 130m も上昇した期間のことである。この退氷期においては、公転軌道の形や自転軸の傾きなど、地球軌道要素の変化によって、北半球の夏における太陽からの距離が近くなったことにより、大陸氷床が縮小を始め、その影響が全球に及んだと考えられている（ミランコビッチ理論）（Kawamura *et al.* 2007）。退氷期の大気中二酸化炭素濃度の増加については、大陸氷床の縮小による気候変動や海洋への淡水流入が、海洋の温度や循環、生物活動の変化を引き起こし、海洋からの二酸化炭素放出につながったとする考え方が主流である（野崎 1994 ; Sigman and Boyle 2000 ; Ahn *et al.* 2008）。しかし、これらの研究成果から、二酸化炭素が地球温暖化を引き起こさなかったとする論理は誤りである。

なぜなら、まず退氷期の持続期間が 5000 年以上であり、二酸化炭素の気温に対する数百年の遅れに比べてはるかに長いからである。つまり、懐疑論では無視されているが、二酸化炭素濃度と気温は何千年間も同時に上昇していた。もう一つ、見落としとしてはならないことは、氷床コア解析から復元された温室効果ガス濃度と、地形・地質学的調査から復元された過去の大陸氷床の拡大範囲から、氷期の最寒期における温室効果気体濃度と大陸氷床による負の放射強制力が、同程度であったことが分かっていることである。複数の気候モデルで軌道要素と温室効果ガス濃度、氷床の分布を変化させた古気候シミュレーションにおいても、氷期の気温が 3~5℃低下したと推定されたが（IPCC 第四次報告書）、温室効果ガス濃度の減少がなければ、その半分程度にしかならない。

また、氷期の寒冷化には大気中のエアロゾルや植生分布の変化も寄与したと考えられ、それらは、氷床と温室効果気体による気候変動に対する、さらなるフィードバックとして捉えるべきものである。まだ不確実性は大きいですが、これらの寄与を考慮に入れると、気候モデルによる氷期-間氷期の気温変動の推定値は 4~7℃である。これらのことは、大気中二酸化炭素が気候変動への正のフィードバックとして働き、気温上昇をさらに強めたことを示しているとともに、気候モデルによる見積もりと古気候データとの間には、定量的にも矛盾がないことを示している。

なお、アル・ゴア氏の映画『不都合な真実』において、過去 65 万年間の氷床コアデータを用いた文脈で、将来の気温上昇について定性的には正しいものの定量的には誤った示唆をしているのは確かである。なぜなら、気温の予想値に言及しているわけではないものの、過去に見られた二酸化炭素濃度

第3章 温暖化問題の科学的基礎

と気温との相関を、そのまま将来に外挿することを読者に促すような表現になっているからである（実際には、氷期-間氷期の気温変動における温室効果気体の寄与は半分程度である）。

しかし、ゴア氏が、過去の気温と二酸化炭素濃度との間には複雑なメカニズムを介した相関があるとしたことや、温室効果気体が気温に影響したと言及したことなどは正しい。一方、「氷期-間氷期の気温変動が温室効果気体変動に一方向的に影響しただけであり、温室効果気体による気温変動の増幅がなかった」と主張する懐疑論は、定量的にはおろか定性的にも誤りである。

懐疑論の背景には、「過去においても現在においても二酸化炭素のみが温暖化の原因だと IPCC や気候学者は主張している」というような誤った認識があるように思われる。まさにこのような批判こそが、地球温暖化の理論と古気候復元結果との整合性を「懐疑論者」が十分に理解あるいは研究していないことの証左と言える。

証拠 3.（人為的二酸化炭素排出が継続していたにも拘らず）92年と93年では二酸化炭素濃度は増加しなかった（槌田 2005；近藤 2006）。

<反論>

第一に、大気中二酸化炭素濃度変化は、人為起源の排出と自然の（海洋および陸上生態系の）排出および吸収の和で決まる。したがって、自然の排出・吸収は火山噴火やエルニーニョのような自然変動により変動し、正味で大きな吸収になることもある。人為的二酸化炭素排出があれば必ず大気中二酸化炭素濃度が上がることを人為的排出二酸化炭素温暖化説の研究者は主張しておらず、二酸化炭素濃度の変動は、人為的排出二酸化炭素温暖化説を否定するようなものではない。

第二に、スクリプス海洋研究所による観測データ (<http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-keel.html>) のうちで、もともと季節変動がより小さい（自然の排出・吸収の影響が現われにくい）南半球の地点での年平均値を見ると、二酸化炭素濃度はこの時期も上昇しつづけている。

第三に、元データ、すなわち槌田（2006）の図表 2-4 あるいは近藤（2006）の図 2.11 を見ると、月別では最高月の濃度は92年も93年も上昇傾向にはあり、全体の上昇傾向にそれほど逸脱していないようにも見える。

第四に、そもそも、2年間の異常があるから、産業革命以降の約150年間ですべて成立していると想定できるものを完全否定する、という論法自体がおかしい。

証拠 4. 2003年では大気中二酸化炭素濃度が3 ppmも増加した（それまでは毎年1.5~1.8 ppm）。3 ppmというのは、人間が排出した量と同じである（槌田 2004）。

<反論>

まず、3 ppm という数字の由来が不明である。また、前出の議論 13 証拠 3 に対する反論の中でも述べたように、二酸化炭素大気中濃度は、人為的排出以外の要素も影響するため大きな幅があり地域に

よっても異なる。したがって、3 ppm という数字もあり得ない数字ではない。実際に、IPCC 第三次報告書でも、「1990 年代の年々の増加量は、0.9 ppm (0.2%) から 2.8 ppm (0.8%) まで」となっており、変動幅は大きい。

証拠 5. エルニーニョの1年後に二酸化炭素濃度が上昇する。エルニーニョによる海面水温上昇によって大気中に二酸化炭素が海洋から放出される (植田 2005b)。

<反論>

これも人為的排出二酸化炭素温暖化説と矛盾しない。前出の議論 13 証拠 1 に対する反論でも述べたように、確かに、エルニーニョによって二酸化炭素濃度が増えるという形の因果関係は考えられる。しかし、それは温暖化や干ばつによる森林火災時の二酸化炭素排出が大きく影響していると考えられている。実際に、最近では 97~98 年のエルニーニョによって、多くの国で数百万 ha もの森林火災があった。83 年のインドネシアでの森林火災もまた、その半年以上前のモンスーン期の干ばつ (実際にあったエルニーニョ) の影響を受けて二酸化炭素を排出していた。なお、次の図 10 と図 11 で示したように、エルニーニョによる海面水温上昇によって海洋から二酸化炭素が放出されるというのは、実際の観測によって否定されており、実際は、逆にエルニーニョによって海面からの二酸化炭素放出量は減少するという変化が起きている (Feely *et al.* 1999)。これは、エルニーニョに伴って太平洋赤道域に広がる高温の海水には、生物活動の影響によりもともと CO₂ があまり含まれていないためである。

なお、図 10 および図 11 で示したデータに対し、「92 年はピナツボ火山噴火の直後にあたるので、このような特殊な時期のデータはあてにならないのではないか？」という疑問もあるであろう。しかし、こうした時期だからといってエルニーニョそのものが特異な振舞いを見せているわけではなく、太平洋赤道域における水温の上昇は他のエルニーニョと同様に起こっている。火山噴火が大気海洋間の CO₂ 交換に影響を与えるような具体的なプロセスが提案されているわけではなく、また、水温上昇に伴う CO₂ 放出減少の理由も上記のように合理的に説明できる。すなわち、ここで示された 92 年のデータは十分に代表性があると思ってよい。実際、図 11 をみると、92 年以外のデータである 93-96 年についても、水温と CO₂ 分圧の逆相関ははっきりと見て取れる。もちろん、エルニーニョのような出来事によるフィードバックはいつも同じように (同じ大きさで) 成立するとはかぎらない。

第3章 温暖化問題の科学的基礎

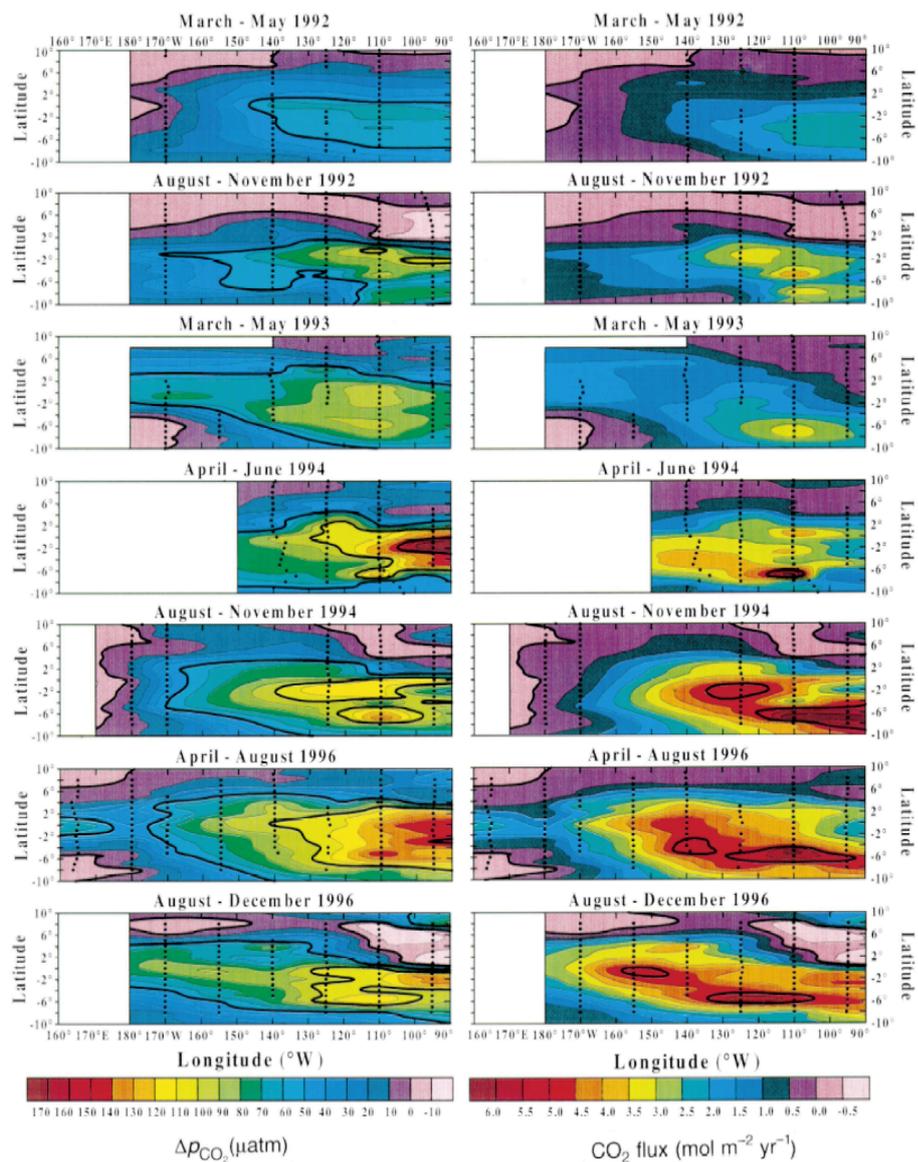


図 10. エルニーニョと海面からの二酸化炭素放出との関係

出所 : Feely *et al.* (1999)

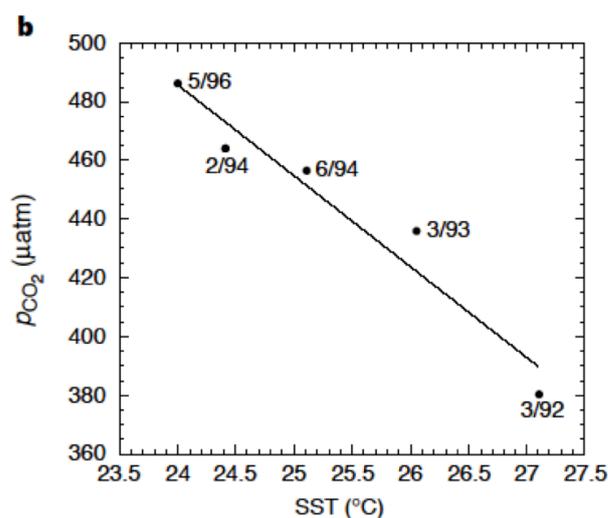


図 11. 海面水温と二酸化炭素分圧との相関関係

出所：Feely *et al.* (1999)

注：図 10 の右列が海洋からの CO₂ 放出を示す。上の方 92, 93 年がエルニーニョ発生年、下の方の 96 年は非エルニーニョ発生年にあたり、エルニーニョ発生年の方が、CO₂ 放出が小さくなっていることがわかる。図 11 では、海面水温（SST）が上がると CO₂ 分圧（pCO₂）が下がる（海は CO₂ を吸収しやすくなる = 海面からの CO₂ 放出量が小さくなる）というきれいな相関が示されている。

議論 14. 海面水温上昇で、海洋から CO₂ が大量に放出される。例えば 1 度の海水温上昇で CO₂ の溶解度は 4%減少する。海洋表層に含まれる無機炭素は 1,020Gt ほどであるので、1 度の海水温上昇で 40Gt（炭素量換算）の CO₂ が大気中に放出されることになる（近藤 2006）。

<反論>

炭酸系における「緩衝効果」と呼ばれる現象のため、1 度の温度上昇による炭素放出は 40 Gt より小さく、4 Gt ほどであると考えられる。これは大気中濃度に換算して 2 ppm ほどであり、マウナロアにおける CO₂ 濃度直接観測が始まった 1958 年から現在までの CO₂ 濃度増加量 50ppm に比べわずかな量でしかない。すなわち、全球平均で 1 度程度の海水温上昇では、大気中の二酸化炭素濃度上昇を定量的に説明できない。

この炭酸系の緩衝効果について概略を簡単に説明する（野崎（1994）72-73 ページ、より詳細な解説がされている）。

海洋中で無機炭素は、二酸化炭素（CO₂）、炭酸イオン（CO₃²⁻）、重炭酸イオン（HCO₃⁻）の 3 つの形態を主にとりながら溶解し平衡に達している。「CO₂ の溶解度が 4%減る」ということはあくまで CO₂ 形態の溶解度が 4%減少することを意味し、3 形態をあわせた「全炭酸」濃度の減少量とは異なる。

第3章 温暖化問題の科学的基礎

CO₂の溶解度が4%減少したとき、全炭酸濃度の減少量はその1/10程度の約0.4%であり、このことを緩衝効果と呼ぶ。そして、上の1,020Gtという数字は、CO₂形態の無機炭素量ではなく全炭酸量であることに注意して欲しい。

緩衝効果について、さらに例を挙げて説明する。Sabine *et al.* (2004)は、海洋が吸収した人為起源CO₂の分布を推定している。それによると、海洋表層における人為起源CO₂の典型的濃度は、全炭酸で50 mmol/m³ほどである。これに対し、自然界にもとから存在する全炭酸は海洋表層で2000 mmol/m³ほどであり、人間活動による増加は2.5%ほどに過ぎない。しかし海洋表層のCO₂分圧は大気中のものと同様、産業革命以前から30%近くも増えている(Takahashi *et al.* 2002)。海洋中のCO₂分圧はCO₂形態の無機炭素濃度に(一定温度では)比例するので、緩衝効果により、全炭酸濃度よりも増加の割合が1桁高いのである。

なお、炭酸系の緩衝効果に関しては、ハーバード大学教授でもあったRoger Revelle氏がその認識に重要な役割を果たしていることを付け加えておきたい(炭酸系の緩衝効果を定量的に議論する際に重要な係数にRevelle係数という量がある)。彼は、本稿の議論13でも取り上げたチャールズ・キーリング氏を雇用してハワイのマウナロア山での大気中CO₂濃度観測を推進した米スクリプス海洋研究所長(当時)であり、映画『不都合な真実』にあるように、ハーバード大学の学生であった若い頃のアル・ゴア氏に大きな感銘を与えた人物でもある。

議論 15. 炭化水素燃料の燃焼によって大気に付加される二酸化炭素による炭素の供給量は6 Gt程度であって、年間に大気と生態系・海洋表層水と交換される二酸化炭素による炭素量200 Gtのわずか3%に過ぎない(近藤 2006)。

<反論>

これも非常にミスリーディングな議論である。大気、陸、海の間での二酸化炭素のやりとり(自然の炭素循環)は、例えて言えば、年度末の残高(大気中二酸化炭素濃度)の変化は大きくないものの、年度途中での出し入れが激しい貯金口座の預入・引出のようなものである(だから循環という名前がついている)。一方、人為的二酸化炭素排出は、わずかずつであるものの、年度末残高を増加させる積立貯金になぞらえることが出来る(人類による二酸化炭素排出量は産業革命以降現在までの累計で約350 Gt)。この累計で約350 Gtというのは、産業革命以前の大気中二酸化炭素存在量の約7割であり、自然界の炭素循環過程での変動では吸収不能な量である。なお、これに関しては向井(2007)を参照されたい。

議論 16.「人為的に排出された二酸化炭素のうち、大気中にとどまるのが46%、海洋吸収が28%、森林吸収25%」という推定はいい加減。「森林などによる吸収の増加」は、森林伐採や焼き畑などの現状に反している（樋田 2005b；樋田 2006）。

<反論>

前出の議論 14 に対する反論でも述べたように、しばしば「温度上昇によって二酸化炭素濃度が上昇した。人為的排出は大気中二酸化炭素濃度上昇に関係ない」という主張のもと、ヘンリーの法則やエルニーニョなどが持ち出され「大気中にとどまるのが46%」などの数字が否定される。

しかし、このような議論は、直感的に考えておかしく、観測事実によっても否定されている。

まず、仮に、現在観測されている二酸化炭素濃度上昇が人為的な排出由来でないとすると、数十万年間も変化がなかった状況から、何らかの原因で海洋から人為的な排出と同じ量の二酸化炭素がいきなり放出され、それと同時に全く同量の人為的排出による二酸化炭素が海と陸に吸収されなくてはならない。これは直感的に非常に考えにくい。仮に森林伐採によっても陸域生態系から排出、さらに海水温上昇で海洋からも排出、人為的な化石燃料からも排出というのであれば、一体それらの二酸化炭素は最終的にどこへ行ったというのだろうか。

ヘンリーの法則によって人為起源二酸化炭素が海洋にすべて吸収されると説明するのも困難である。なぜならば、もし人為起源二酸化炭素が全て海洋に吸収されたとすれば、その分海洋中の二酸化炭素の質量は大きくなり、平衡する大気中の二酸化炭素分圧もそれに比例して大きくなる。しかし、人為起源二酸化炭素は大気中には残っていないので分圧の上がりようがない。したがって、実際には、人為起源の二酸化炭素の一部が大気中に残り、「海洋中の二酸化炭素量増加に対応する二酸化炭素分圧上昇」と「大気に残った二酸化炭素によりもたらされる実際の二酸化炭素分圧上昇」が等しくなるところで平衡が保たれるはずである。

また、前述のように、エルニーニョによる海面水温上昇→二酸化炭素放出の可能性も実測によって明確に否定されている。

さらに、下記に挙げるのは、独立的な研究手法に基づいた複数の定量的な研究であり、すべてある程度の範囲で、「人為的に排出された二酸化炭素のうちで海洋に吸収される量」などに関する数値でほぼ一致した結果を出している。もし、このような数字を否定するのであれば、一つ一つの研究結果に対して具体的な反証を挙げるべきである。

研究 1： ^{14}C 濃度の変化

化石燃料由来人為的排出による二酸化炭素は、炭素同位体である ^{14}C の含有量が小さい。したがって、図 12 に示したような大気中の二酸化炭素に含まれる ^{14}C の濃度変化を見れば、大気中二酸化炭素濃度上昇が化石燃料由来によるか否かがわかる⁵（Damon *et al.* 1973；Baxter and Walton 1970）。

⁵ より詳細は、Freyer (1979) を参照せよ。

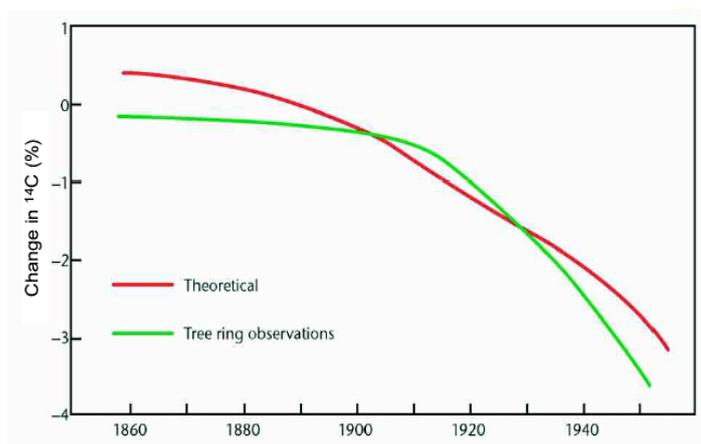


図 12. 大気中における ^{14}C 濃度の変化

出所：Hadley Center (2005)

研究 2 : O_2 濃度の変化

大気中の酸素の濃度は、化石燃料由来の人為的二酸化炭素排出および陸域植生による吸収によって変化するが、海洋による二酸化炭素吸収によっては変化しない。したがって、Keeling *et al.* (1996) で明らかにされているように、大気中の酸素と二酸化炭素濃度の変化をあわせて見れば、人為的排出を含めた二酸化炭素の排出・吸収源の寄与度がわかる (図 13)。これに関しては IPCC 第三次報告書で詳しく議論されている (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/fig3-4.htm を参照せよ)。

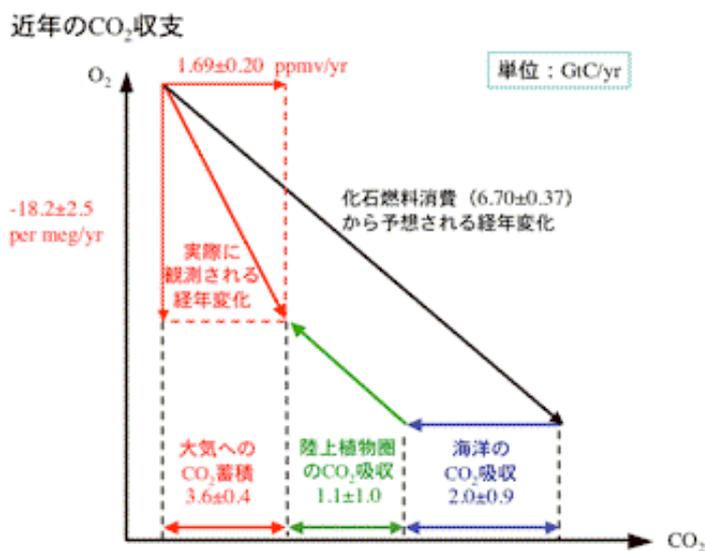


図 13. O_2 と CO_2 の観測結果から得られた近年の CO_2 収支に関する模式図

出所：東北大学大気海洋変動観測研究センター (2006)

第3章 温暖化問題の科学的基礎

陸上生態系による吸収は、大気中の二酸化炭素収支を地域別・季節的に分けて解析することなどにより、主に北半球中・高緯度の植生が吸収していることがわかっている。しかし、木、草、土壌などへの配分や、どの程度安定した形で貯蔵されているかについては未解明なことも多い。陸上生態系の吸収がふえた理由の一部は、地域や生物種によって様でないものの、1) 特に北米やヨーロッパにおける多くの農地が使われなくなって森林になる単なる土地利用が変化 (Caspersen *et al.* 2000)、2) 二酸化炭素濃度の増加および気候変化が光合成による有機物生産に有利に作用、3) 大気汚染や肥料に由来する窒素による施肥効果、などで説明される。

研究3：海洋中炭素濃度の変化（6つの独立した手法）

大気と二酸化炭素をやり取りするのは海洋と陸域生物圏の2つだけである。したがって、大気中の二酸化炭素の一部でもが海洋なり陸域から排出されたものなのであれば、これらの二つが貯蔵する炭素量の減少が実際に計測されるはずである。これに関しては、すでに以下の6つの独立した手法を用いた定量的な分析がなされており、大気と海とのやりとりに関して、すべてほぼ一致した結果（海洋炭素量減少の否定）を明確に示している。

- 1) 海洋表面の二酸化炭素分圧の直接観測 (Takahashi *et al.* 2002)
- 2) 異なる海域への炭素循環量を示す二酸化炭素の大気中の空間分布観測 (Bousquet *et al.* 2000)
- 3) 生体プロセス影響を排除したCFCと炭素、酸素、養分の総合観測 (Sabine *et al.* 2004)
- 4) CFCsによる水の年齢推定と組み合わせた炭素とアルカリ性の二回の観測 (McNeil *et al.* 2003)
- 5) 大気中二酸化炭素増加と酸素減少の同時観測 (Keeling *et al.* 1996)
- 6) 大気中二酸化炭素増加と¹³C減少の同時観測 (Ciais *et al.* 1995)

すなわち、現時点（2007年2月）においては、海洋中炭素に関して減少を示す観測の報告数はゼロである。一方、上述のように、増加を示す観測の報告数は、6つの独立した手法を用いて20以上の研究文献がある。繰り返して言うが、もし、このような数字を否定するのであれば、一つ一つの研究結果に対して具体的な反証を挙げるべきである。

議論 17. 人為的に排出された二酸化炭素の大気中滞留時間は短い。

証拠 1. 人間活動によって放出されたCO₂のうち、大気中に長期的に残存する量は等比数列の和として計算され、3.33年分の放出量にあたる量しか残存しない (植田 2007; 植田2008)。

<反論>

「人間活動によって放出されたCO₂のうち、約3割が海洋や森林に吸収される」（5割と言った方が実態には近いが、植田氏の議論に合わせて3割という値を使う）という表現がよくなされる。これは丁寧に言い換えれば、「森林や海洋はCO₂を放出したり吸収したりしているが、地球全体では現在正味で吸収となっている。その1年間の吸収量は、同じ年に人間活動によって放出されるCO₂量の約3割にあたる」

第3章 温暖化問題の科学的基礎

という意味である（人間活動によって放出されたCO₂分子が選択的に吸収されるという主張は含まれていないことに注意）。すなわち、樋田氏が主張しているような「ある年に人間活動によって放出されたCO₂は、その年のうちに3割が吸収され、次の年には残りの7割のうちの3割がさらに吸収されるという過程が無限に繰り返される」という意味ではない。

したがって、人間活動によって放出されるCO₂量をQ、森林や海洋による吸収量のQに対する割合をrとし、Qとrは時間変化しないと仮定すれば、大気中に残存するCO₂量の正しい計算法は、

$$Q * (1-r) + Q * (1-r) + Q * (1-r) + \dots$$

ということになる。この数列の和は収束せず、人間活動によるCO₂放出が続く限り大気中のCO₂量は増えていくことになる。

なお、ここで問題になっているのは大気中CO₂の収支に関わる問題であるので、本質を損なわずに次のような金銭の収支に置き換えてみる。例えば、

ある家庭では年間の収入と支出が釣り合っており、貯金額の増減はなかった。ある年から50万円の副収入が入ってくるようになった。その副収入のうち3割を消費に向け、残り7割を貯金にすることにした。このとき、貯金額の年々の変化はどのように計算されるだろうか。

という問題を考えてみよう。この問題と大気中CO₂収支の問題との対応は、

元の年間の収入・支出 → 人間活動によるCO₂放出がない時の森林や海洋によるCO₂の放出・吸収
貯金額 → 大気中のCO₂量
副収入 → 人間活動によるCO₂放出量
消費に向けられる副収入 → 森林や海洋による吸収量
貯金に向けられる副収入 → 大気中に残るCO₂量

となる。

貯金額の変化は当然、

$$50万円 * 0.7 + 50万円 * 0.7 + 50万円 * 0.7 + \dots$$

と計算すべきであるが、これを、

1年目は50万円のうちの7割、つまり35万円を貯金することになる。2年目は、その年の副収入50万円の7割（=35万円）と、1年目に貯めた35万の7割（=24.5万円）との和、59.5万円が増加分になる。

3年目には、同じ要領で 50万円*0.7 + 35万円*0.7 + 24.5万円*0.7となり、増加分は76万6,500円になる。したがって、このようにして貯金を無限に続けていっても、

$$50万円 * (0.7 + 0.7^2 + 0.7^3 + \dots) = 50万円 * 0.7 / (1 - 0.7) = \sim 117万円$$

と計算されるように、当該年の副収入50万円を足した約167万円しか貯金は増えない、

などと計算しているのが樋田氏の議論にあたる（図14）。

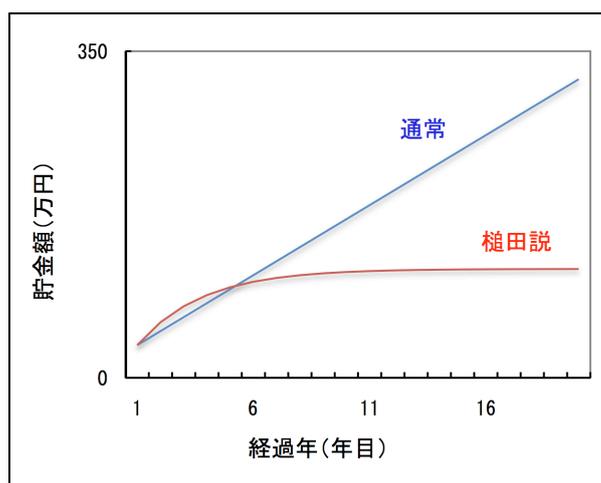


図 14. 榎田氏の議論による計算と通常の計算との相違

証拠 2. 大気中二酸化炭素と海洋中二酸化炭素は平均海面温度で準熱平衡状態にあり、人為的二酸化炭素が長期間大気中に留まるとは考えられない（榎田 2005b）。

<反論>

まず、二酸化炭素は水と反応して炭酸イオン等の形で海水に溶け、また、海洋プランクトンの活動により、海洋表層の炭素は有機物に変換されて中層・深層へ沈降するため、二酸化炭素の海水への溶解量はヘンリーの法則（溶解度の小さい気体では、温度が一定ならば、一定量の溶媒にとける気体の質量は、その気体の分圧に比例）だけからは決まらない。また、表層水は 1000 年のオーダーで循環して深層水と入れ替わるため、深層を含む海洋全体の炭素量が大気中の二酸化炭素濃度と平衡するには 1000 年オーダーの時間がかかる。以上から、大気と海洋との短時間スケールの平衡状態を基点とした議論は誤りである。すなわち、人為的二酸化炭素排出を主因として急速に増加した大気中二酸化炭素濃度に対して、海洋全体としては全く平衡に達しておらず、大気中二酸化炭素をしばらくは吸収し続ける過渡状態にあると考えるのが合理的である。なお、大気中二酸化炭素濃度の決定には、海洋のみでなく、陸域生態系と大気との炭素交換の役割も重要であるが、こちらも温度のみによる短時間スケールの平衡状態では議論できない。

議論 18. 森林は CO₂ を吸収しない（武田 2007a；武田 2008, p.182）

証拠. IPCC が第 2 次報告（1995 年）で示した世界全体の収支（炭素換算）は、南方の森林：17 億トンの放出、北方の森林：7 億トンの吸収、差し引き：10 億トンの放出となり放出が多い（武田 2008c, p.184）

<反論>

武田氏の引用する、南方の森林による「17 億トンの放出」の根拠となっている IPCC 第 2 次報告書（SAR）では、“IPCC (1994) indicates that the net emission from changes in tropical land-use was 1.6±1.0 GtC/yr for the period 1980 through 1989 (Schimel et al., 1995). Houghton (1995) estimated that in 1990 the net flux to the atmosphere, essentially all from the tropics, was 1.7 GtC/yr with an uncertainty of ±30%.”（IPCC SAR WG1, p.451）と記述されており、武田氏の言う 17 億トンのうち、16 億トンは人為的改変による放出である。すなわち、大半が人為改変による排出量と、SAR によると 0.7~0.8 GtC/yr とされる北半球中緯度の吸収量の差し引きは、本来の意味での自然の森林の収支を表さない。なお、SAR 時点において、武田の言う「南方の森林 17 億トン」と対応する、全球での陸域への吸収量は -2.6 GtC/yr である（Ciais et al. 1995）。

ちなみに、IPCC の第 4 次報告書（AR4）で、火災や農地化など、土地利用の変化も含めた、陸域の吸収量見積もりは、0.9±0.6 GtC/yr（2000-2005 年）、熱帯林での人為改変による放出量は 1.6±0.6 GtC/yr（1990 年代）となっている。

議論 19. 森林火災のため、地球全体では CO₂ は吸収しきれない

証拠 1. 福田（2004；正しくは 2005 年）では、微生物の活動が不活発な北方の森林では、森林が育つときの CO₂ の吸収が 259 g/m²、分解などで排出する CO₂ が 173 g/m²、差し引き 86 g/m²（の吸収）であり、約 3 分の 1 の CO₂ しか固定されない（武田 2008c, p.185）。

証拠 2. シベリアで、火災で焼失する森林は 0.1 億 ha/year であり、それを補うために必要な森林 10 億 ha であるのに、現実のシベリアの森林は、2.5 億 ha であるから、「火災によって増える CO₂ を吸収することはできない（武田 2008c, p.186）。

<反論>

武田（2008c）で引用されている吸収・排出量の数値は、福田（2005）には掲載されていない。これらに近い値として、観測サイトの収支として、2000 年の非伐採箇所で -184 gC/m²（吸収）、は 2001 年の伐採後に +184 gC/m²（排出）とあり、また、2001 年のコントロールサイト（非伐採）では、非伐採箇所で -263 gC/m² の吸収量であることがわかる。もしこれらの値であるなら、これは同じ単位面積あたりの収支にすぎず、北方林全体の収支を代表するものではない。

ところで、武田（2008c）で挙げられている森林火災面積や森林面積をそのまま適用すると、25 年で森林が全て消失するペースになる。一方、福田（2005）の記載事実を見ると、シベリアタイガの総面積は約 8.0 億 ha であり、異常火災のあった 2003 年は 2000 万 ha の森林火災があったと記載されている。

第3章 温暖化問題の科学的基礎

すなわち、武田（2008c）のあげる「1000 万 ha」の記述は見あたらない。ちなみに、早坂ら（2007）によるサハ自治州の事例の場合、森林面積は 1430000km²であり、火災面積は、その約 0.13%にあたる 1797 km²（1955～2005 年）である（注：統計が示す値より実際には焼失面積が多い旨は記されている）。いずれにしても、森林の収支を考える際、特異年の値のみでの議論は不適切である。

なお、森林火災が持つ気候への影響には、下記のような様々な側面がある。

- 1) 火災で炭素が放出される
- 2) しかし、炭素の一部は炭になる（炭は極端に分解されにくく、炭素を貯留する効果がある）
- 3) 火災でブラックカーボンが出る（火災のあった年のアルベドが下がる）
- 4) ところが、裸地のアルベドは低い（火災後 2 年目からのアルベドは上がる）

すなわち森林火災の影響は、武田（2008c）の議論のような単純なものではない（これらについては、最新の研究としては Randerson *et al.*（2006）が詳しい）。

議論 20. 「CO₂ を吸収する」という発想は見当はずれ（武田 2008c, p.187）

<反論>

京都議定書の中での森林吸収のアカウントティングに関して疑問を呈しているようだが、京都議定書での考え方は、ごく単純化して言えば、人為の努力によって従来よりも CO₂ をより多く吸収した場合に、その分だけを吸収量としてカウントする、との考えである。武田氏は、上述（議論 18）の自然の森林吸収と混同しているように思われる。

3.4. 温室効果強化に対する気候システムの応答に関する議論

地球温暖化は、温室効果ガス濃度変化という強制作用への気候システムの応答と考えられる。この応答の強さの指標として、二酸化炭素濃度が2倍の値と1倍の値でそれぞれ固定されて十分に時間が経たときの長期平均気温の差をとった「二酸化炭素倍増に対する平衡応答」がある。地球温暖化の文脈での慣例として、「気候感度」はこの平衡応答をさす。その大きさに関しては、多くの研究を検討した結果、 $2^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ の範囲におさまる可能性が高いと考えられている。

議論 21. 観測から推定される気候感度は小さい（伊藤・渡辺 2008, p. 95-99；伊藤 2009）

<反論>

一般に、IPCC に対する反論の中には、IPCC の結論に反する研究を一つ二つ例示して詳しく解説するという手法をとるものがある。しかし、例示された研究が、IPCC の結論を導いた多数の研究を凌駕する説得力を持つかどうかを吟味しなければ科学的な議論とはいえない。なぜなら、IPCC の結論は、相反するものも含めた多数の論文を総合的に評価することにより導かれているからである。

伊藤（2009）は、Illis（2008）を例示して「観測から推定される気候感度は小さい」と結論している。しかし、IPCC が引用している 2°C 以上の気候感度を観測から推定した多数の論文（図 15）のどれよりも、この一つの研究が信頼できるということを示さないかぎり、そんなことはいえない。

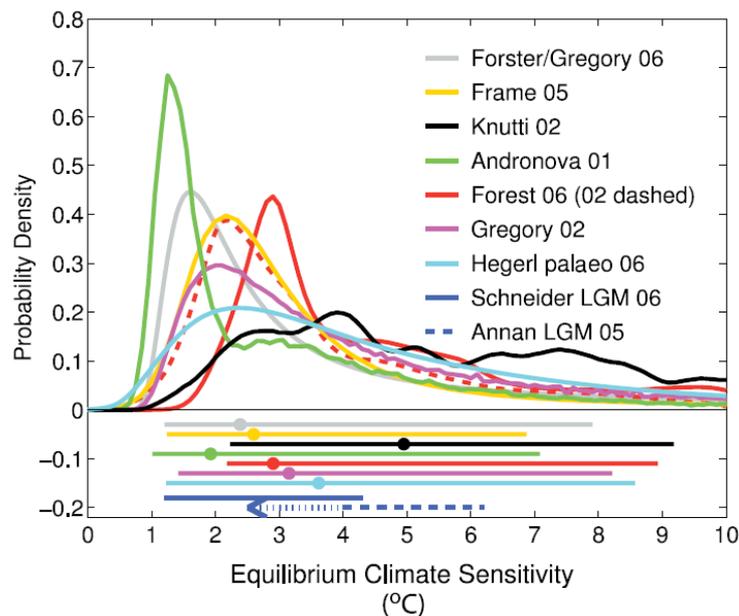


図 15. 観測データに基づいて推定された気候感度（二酸化炭素倍増平衡気候感度）の確率分布

出所：IPCC WG1 AR4, Figure 9.20

第3章 温暖化問題の科学的基礎

注：この図は、種々の研究による、観測データに基づく気候感度の推定値の確率分布を示している。図の下側の線は 5-95%信頼区間、ドットは中央値を表す。どの研究も簡単なモデルを用いているが、モデルのパラメータを観測データにより制約するため、実質的に観測データに基づく推定といえる（ただし Annan LGM 05 は GCM を用いているのでモデル依存性が入っているだろう）。いずれにしろ、どの推定も高い気候感度の方向に長い尾を引くことが共通の特徴である。このため、たとえば伊藤（2009）で引用している Forster/Gregory 06（灰色線）では、確かに最尤推定（分布のピーク）は 1.6°C であるものの、中央値（図の下のドット）は 2.4°C と高くなることに注意してほしい。中央値を 3°C 前後とする研究がもっとも多く、最尤推定で見ても 2~3°C を超える研究が少なくない（IPCC WG1 AR4, Figure 9.20）。

また、この Illis の研究は、以下のような問題が指摘できる。

- 1) エーロゾルの冷却効果および海洋熱吸収を無視しているため、必然的に現実よりも低い気候感度を導く。
- 2) 気温データとして地上観測よりも衛星観測によるものを重視したことが低い気候感度という結果をもたらしている。しかし、衛星データにも不確かさがある。とくに複数の衛星による観測をつなぐ際の不確かさが含まれている。
- 3) この研究はまだ査読を経た論文として出版されていない。

さらに、二酸化炭素濃度を倍増に固定して十分に時間が経ったときの気温上昇量である「平衡応答」と、年 1% 複利で二酸化炭素濃度を増加させていって倍増した時点（70年後）での気温上昇量である「過渡応答」の二つをよく区別して理解する必要もある。伊藤（2009）は、「実用上は後者が重要で、その値は前者より小さいのに、それがよく知られていない」と主張している。しかし正しくは、どちらも実用上重要である。なぜなら、長期的に気温上昇を止める目標（気候安定化目標）を議論するためには、過渡気候応答ではなく、平衡気候感度で議論する必要があるからである。

なお、伊藤（2008）および伊藤（2009）が引用している、気候感度を 1.1°C 前後と推定した Schwartz（2007）については、手法の問題点などを指摘した Foster *et al.*（2008）、Knutti *et al.*（2008）、Scafetta（2008）の 3 編のコメント論文が出されている。これらに対して Schwartz は、コメントへの応答論文の中で自らの推定値を 1.9°C 前後に修正した（Schwartz 2008）。（ただし、これは Schwartz（2007）で改定された手法にコメント論文の著者たちが満足したことを必ずしも意味しない）

3.5. 地球大気の構造・光学特性に関する議論

地球上の全球平均地上気温を理論的に説明するのに大気の温室効果は必須である。大気の温室効果に最大の寄与をする物質は水蒸気だが、海のある地球上では大気中の水蒸気量は大局的には温度に伴って決まる。したがって水蒸気は温度変化に対して正のフィードバックの要因として働き、外的強制作用としては重要でない。第2の寄与をするのが二酸化炭素であり、この濃度が人間活動によって増加していることは気候に対する外的強制作用として重要である。懐疑論者の間で典型的な議論として、「赤外線吸収の主役は水蒸気であり、二酸化炭素の増加など取るに足らない」「二酸化炭素による赤外線吸収は飽和しており、濃度が増加しても昇温につながらない」といったものがある。また槌田（2006）は独自の理論により「地球表面の気温が二酸化炭素濃度によらない全く別の過程によって決まっている」と主張する。本節では、これらの主張の背後にある誤解について指摘を行っていく。

議論 22. 対流圏上部の大気温度は、その大気中の水蒸気の分子振動による宇宙への放熱で決まる。この温度はマイナス 18°Cである。残りの対流圏大気の基準温度は気圧で決まる。高度の下降に伴い気圧が上がると温度が上がる。地上の温度は（気温）は、1 気圧での基準温度の付近にある。基準温度よりも対流圏大気の温度が高くなると不安定になり、対流とそれに伴う蒸気降雨が発生して冷却されるので、基準温度は維持される（槌田 2004）。

<反論>

地球のエネルギー収支はつりあっていると近似できるので、地球が吸収する太陽エネルギー量が変わらなければ、宇宙から見たときに地球が出す放射の代表温度（有効放射温度）は一定（マイナス 18°C）とみなしてもよい。また、対流圏の鉛直温度勾配は近似的には一定とみなしてもよい。

しかし、槌田（2004）では、放射の代表温度をもつ高さが増えることが見落とされている。温室効果物質が多いということは、赤外線に対して大気がより不透明だということだから、赤外線で見えるのはより外側、つまりより高いところになる。つまり、放射の代表温度をもつ高さは温室効果物質が多いほど高くなる。したがって、温度勾配が一定ならば、地面付近の気温は、より高くなる。

これは真鍋による次の有名な温室効果の説明に他ならない（例えば真鍋 1985）。図 16 において、地球の出す放射の代表温度が T_e で、太陽から受け取る放射とつりあっているとすると、実線の温度分布ならば、図 16 の A が放射を出す代表位置である。ここで大気が赤外線に対してより不透明になると、放射を出す代表位置が A' になる。ところがこれでは地球が出すエネルギーが受け取る太陽エネルギーより少ないので、地球（大気・海洋）が暖まっていく。A' の高さの温度が T_e となる破線の温度分布まで大気全体が暖まって、地球のエネルギー収支がつりあうことになる。

第3章 温暖化問題の科学的基礎

なお、実際には地表付近気温はこれだけからは決まらず、地表面エネルギー収支の影響を受ける点に注意が必要である。

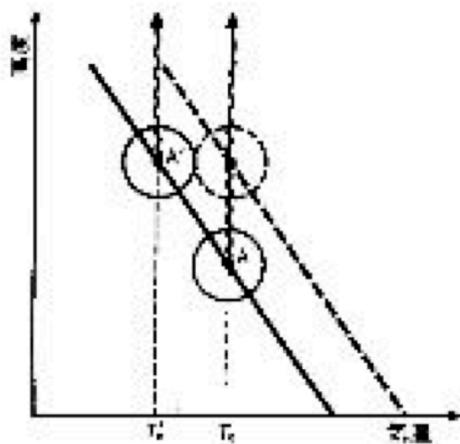


図 16. 気温と高度との関係を示す模式図

出所：真鍋（1985）

議論 23. 成層圏でも大気は循環しており、その結果秒速 60 メートルもの風が吹いているので平衡状態とはとても言えない。まして、対流圏では、積乱雲が見られるように地表から対流圏上部まで直結して激しい活動があり、これを平衡で近似することはそもそも無理である。そのような平衡モデルを出発点とする地球温暖化論では正しい答えが得られるはずがない（槌田 2005b；槌田 2006）。

<反論>

放射対流平衡モデルの「平衡」という概念に反応しているようであるが、ここではまず用語の意味の食い違いに起因する誤解があることに注意したい。気候モデルの文脈で「平衡」という用語が意味するのは、熱力学的な用語では「平衡状態」（エントロピー極大のいわゆる「熱的死」の状態）ではなく、「非平衡定常状態」（エネルギーの出入りによりエントロピーを低く保ったまま時間的に定常な状態）のことである。地球は熱力学的にはエネルギーについて開いた非平衡系であるため、地球物理学では（少なくとも大循環のスケールでは）孤立系の熱力学的平衡状態を問題にする機会が無いことから、「平衡」という用語が熱力学的平衡ではなく単に外部条件にバランスした時間的な定常状態を表す意味で用いられることが慣例化しているものと思われる。これを熱力学的平衡と受け取られると、大きな誤解を招く可能性がある。この点は地球物理学者（気象学者）の側からも注意すべき点と言えるかもしれない。

さて、この点に注意すれば、槌田（2006）の誤解を指摘するのは容易である。鉛直 1 次元放射対流平衡モデルでは、水平方向に平均化された鉛直温度構造を問題にしている。成層圏の循環は風速が大

きくても水平平均した鉛直温度構造の変化に大きく寄与しないので、その効果は省略されているが、これはモデルが「成層圏の大気が循環していない」と仮定していることを意味しない。積乱雲についてはその平均的な効果を対流調節と呼ばれる近似（パラメタリゼーション）により考慮しているので、モデルは「対流圏の鉛直運動が存在しない」とも仮定していない。

なお、近年温暖化の研究によく用いられる3次元の大気大循環モデルでは、成層圏の循環も対流圏の鉛直運動も（積乱雲の効果はパラメタリゼーションであるものの）明示的に表現されており、時間的な定常状態も仮定されていないので、植田（2006）の批判はさらに当たらない。

議論 24. 気温は、1) 対流圏上空の温度、2) 断熱圧縮、3) 水蒸気を原因とする対流、で決まる。CO₂ 温暖化説は、これを十分に考慮していない（植田 2005b）。

<反論>

この3項目には放射過程が欠落している。対流圏の鉛直温度勾配が基本的に対流で決まっていることは確かだが、温度そのものを決める上では放射過程は無視できない。

まず、仮に水蒸気の凝結・蒸発過程がない場合を考える。乾燥断熱勾配よりきつい勾配は、対流が起こるので長続きしない。逆にゆるい場合（上下逆転した場合を含む）は対流が抑制されるので持続可能である。したがって、時空間平均した鉛直温度勾配は、乾燥断熱勾配かそれよりゆるい。地球大気の大気圏の状況では下端の地表面に太陽放射吸収による熱源があるので、必ず対流が起き、平均の鉛直温度勾配は乾燥断熱勾配に近くなるはずである。

水蒸気の効果は、基本的に凝結によって水蒸気の持っていたエネルギーがまわりの空気に移りその温度を上げることによってきく（水蒸気の凝結によって大気を加熱して軽くする）。凝結しながら上昇する空気塊の温度変化は湿潤断熱勾配と呼ばれるものになる。しかし、水を降水として落としたあとと下降する空気塊の温度変化や、上昇中でも凝結が進行しない場合の温度変化は乾燥断熱勾配に近いものになる。したがって、現実の大気の鉛直温度勾配は、湿潤断熱と乾燥断熱の中間となる。

仮に放射にきく意味での水蒸気、他の気体成分、エアロゾルの量などが同じとすれば、地球が出す放射の代表温度とその温度をもつ高さが固定されているとみてよい。その条件で乾燥対流の場合と湿潤対流の場合を比較すれば、地上気温は湿潤対流の場合のほうが低くなる。しかし、放射にきく物質の量が増えれば、代表温度を持つ高さは変化しうる。温度勾配が固定されていても、地上気温が対流だけで決まるわけではない。

議論 25. 水蒸気の濃度変動は大きい。30°Cで飽和水蒸気は 42000 ppm、10°Cでは、12000 ppm、0°Cでは、6000 ppm である。したがって、気温が下がると地表から放射される遠赤外線は大気を通過して宇宙に放出され易くなる（放射冷却）。寒冷化するとますます寒くなる（逆も正しい）。このように温室効果ガスの主役は水蒸気である。CO₂が 100 ppm 増えたところで、この水蒸気温度の変動幅の範囲内であって、温暖化ガスとしての水蒸気による保温効果を大きく修正することにはならない（樋田 2005b）。

<反論>

この章の冒頭でも述べたように、地球大気の温室効果をもたらす最大の要因が水蒸気であることは正しい。また、海のあるもとでは、大気中の水蒸気量はほぼ飽和水蒸気量に比例して増加すると思われるので、温度に対して水蒸気の温室効果が正のフィードバックになることも恐らく正しい。実際に、温暖化予測に用いられる 3 次元気候モデルにおいては、水蒸気による赤外線の吸収・射出は二酸化炭素等と同様に当然考慮されている。

しかし、水蒸気はすべての波長の赤外線を強く吸収・射出するわけではない。二酸化炭素、メタン、N₂O、フロンなどは、水蒸気の吸収の弱い波長帯の一部を強く吸収・射出する。その吸収波長帯の赤外線によるエネルギーのやりとりに関する限りは、水蒸気よりも重要である。さらに、成層圏においては、水蒸気量が非常に小さいため、赤外線の放射において、水蒸気よりも二酸化炭素の方が重要な役割を果たしている。本稿の「はじめに」で紹介したブログ“Real Climate”での議論（Schmidt 2005）によれば、大気の温室効果全体に占める水蒸気の寄与は、雲による吸収の効果も含め 80~90%程度で、二酸化炭素の寄与は 20~30%である（吸収帯の重なりの問題があるので各種温室効果気体の寄与度の和は 100%にならない）。これは、GISS GCM 中の放射プログラムによって得られた数値である。Schmidt（2005）はこの数値は Ramanathan and Coakley（1978）の鉛直 1 次元モデルの計算結果ともよく対応すると述べている。ここで、地球大気全体の温室効果が地表気温で 33°Cの上昇に相当することから、比例計算すれば二酸化炭素の寄与は温度に直して 7~10°Cと評価できる。こうした見積りから、たとえ水蒸気が最も重要な温室効果ガスであっても、二酸化炭素濃度が産業革命以前と比べ 2 倍、3 倍となれば気候に影響を与えうることは十分に納得できるであろう。

なお、水蒸気は通常、放射強制力をもたらす「人為起源」温室効果ガスに含められないが、これは、大気中の水蒸気量を定める要因がおもに大気と海洋および陸面との間の交換（蒸発・降水）であり、また、大気中の水蒸気の平均滞在時間（大気中の存在量を交換速度で割ったもの）が約 10 日と短いからであり、決して水蒸気的重要性が見落とされているためではない。

議論 26. 二酸化炭素は地球放射の赤外線をこれ以上吸収しない。したがってさらなる温室効果を持たない（池田 2006, p.28-29）。

<反論>

図 17 は、鉛直方向の大気全層に相当する二酸化炭素による 1 回の吸収による放射透過率を波長別に計算したもので、横軸は波数（下；波長の逆数）または波長（上）、縦軸は透過率である。これを見ると、確かに波数 630 から 700/cm 付近では吸収が飽和している。

しかし、この図 17 は二酸化炭素による赤外線の射出をゼロとして、吸収の効果のみを表したものである。実際の大気では、地表面から射出された赤外線は大気中の温室効果ガスによる吸収・射出を繰り返して大気上端に到達する。大気中の二酸化炭素濃度が増加すると、この吸収・射出の平均回数が増加することにより、温室効果は増加する。したがって、大気全層による一回の吸収が飽和しているからといって、二酸化炭素がこれ以上増加しても温室効果は増加しないと考えるのは誤りである。

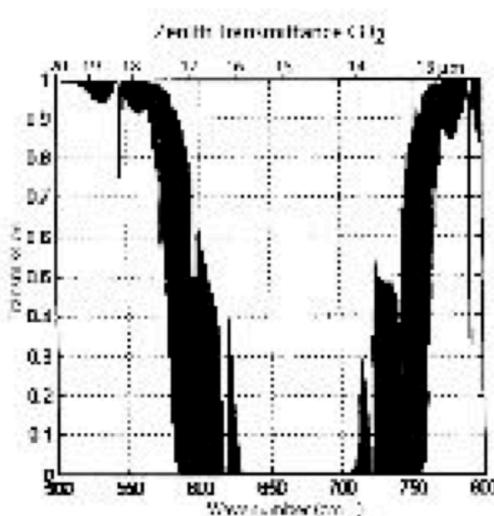


図 17. 二酸化炭素による放射透過率

出所：Petty (2004)

また、図 17 で波数 570 から 620/cm 付近と 710 から 760/cm 付近の黒く見えるところは、透過率が大きい値と小さい値の間を行ったり来たりしており、吸収線の存在を示している。気体分子の吸収線は、圧力効果とドップラー効果と呼ばれる 2 つの効果によって波数方向に幅を持っており、特に、吸収線の中心で吸収が飽和しても、さらに気体濃度が増えると、吸収線の幅が広がることにより吸収量が増加することが分かっている（柴田 1999；会田 1982；Petty 2004）。従って、これらの波長帯では大気全層の 1 回の吸収さえも未飽和であり、二酸化炭素の増加によって吸収量が増加することはさらに自明である。

3.6. 海水準変化に関する議論

各地の陸と海の関係は、ローカルな地殻変動や地盤沈下の影響も受けるため複雑である。しかし、多様なデータを総合すると、全球平均での海水準は20世紀の間に上昇したことは明らかである。たとえ、地域ごとのふるまいがそれと違っていても、それだけで全球平均の変動が否定されることはない。これまでの海面上昇は、温暖化に伴う海水の膨張と山岳氷河の融解を主要因として説明できる。21世紀には、温暖化が進めば大陸氷床の融解が進み、海水準上昇はさらに強まる可能性が高い。北極圏には、海水が凍った海氷のほかに巨大な氷河であるグリーンランド氷床があり、それが融解すれば、さらなる海水準上昇をもたらす。ただし、「氷床の流動がどのくらい加速するか」に関しては、現在、研究が継続中であり、まだ結論がまとまっていない。したがって、21世紀の海水準上昇が起こることは間違いないものの、その大きさの定量的な見通しには不確かさが大きい。

議論 27. ツバルの海面上昇は、ここ 25 年の変化はゼロである（渡辺 2005, p.96）。

<反論>

まず一般論として、海面水位は付近の海流の自然変動や地盤の変動によっても影響を受ける。したがって、一部の地域で海面上昇が見られないことは特別におかしいことではなく、それが直ちに、実際に起きていることが明らかな全球的な海面上昇トレンドを否定する証拠にはならない。また、一部の地域の現象をとりあげて全体の傾向を否定する論法は、非常にミスリーディングなものである。その点を指摘したうえで、ツバルの海面上昇データについて反論する。

渡辺（2005）が主張の根拠として引用するウェブサイト（<http://john-daly.com/>）では、ツバルの首都フナフチに設置されたハワイ大学の潮位計による 1977 年～1999 年末までの約 22 年間の月別潮位計測データをグラフとして示している。渡辺（2005）はそのグラフを見て、独自の判断で「ここ 25 年の変化はゼロ」と述べているが、実際には、NTC（National Tidal Centre in Australian Bureau of Meteorology）が 2005 年 6 月に公表した国別レポート（NTC 2005）によると、同ハワイ大学の潮位計データによる 22 年間の海面変化トレンドは+0.9 mm/年である。これは最新の IPCC 報告書（IPCC 2007）による 1961 年～2003 年の全球平均の海面変化トレンド（1.8mm/年）と同オーダーの数値であり、無視できるほど小さいものではない。

そのグラフの縦軸（潮位計の計測値）のレンジが-0.5m～2.75m と広いため、その図をみただけで 0.9 mm/年の上昇トレンド（22 年間で約 2cm の海面上昇）を見出すことは渡辺（2005）にとって困難であったかもしれない。しかし、同グラフを引いてきて「ここ 25 年の変化はゼロ」と判断するのは不適切である。ただし、このハワイ大学潮位計データには別の問題があることを NTC の国別レポートは指摘していることには注意が必要である。長期の海面上昇傾向を観測するためには、地盤沈下等によって

第3章 温暖化問題の科学的基礎

潮位計そのものの設置高さが変わる影響を補正（基準面補正）する必要がある。しかし、エルニーニョや短期的な海洋振動を観測するために設計されたこの潮位計では補正が不可能である。したがって、+0.9 mm/年という数値の不確実性は非常に大きく、その数値のみをもってフナフチにおける海面上昇の長期トレンドを断定出来ないことが指摘されている。

フナフチに関していえば、豪州国際開発局の資金援助により設置された（基準面補正された）精度良い潮位計による別の観測データも存在している。この観測データに基づき、観測開始（1993年）から最近（2005年）までの海面変化トレンドを見ると、1997年～1998年のエルニーニョに関連した一時的な海面下降があったにも関わらず、+4.3mm/年の海面変化トレンドがあったことが分かっている。依然観測期間が短いことから、長期的なトレンドを断定することは出来ないものの、1993年～2005年の期間については、ツバルでは海面上昇があったといえる。

なお、最近ツバルでは洪水の被害が甚大になりつつある（たとえば、Patal 2006）。その要因としては、ローカルな人間活動でサンゴの健康がそこなわれたことや、人口増加に伴って土地利用が浸水常襲地帯まで広がったこともある。しかし、グローバルな海水準上昇も上に述べた程度には寄与しており、温暖化が進めば、それはますます重大になると思われる。

<追記：2009年4月23日>

2009年になって豪州国際開発局の出資による精度の良い潮位測定に関して、2005年6月以降のデータも用いた新たな研究論文の公表があった（Aung *et al.* 2009）。これによると、観測開始（1993年）から2008年9月までの平均潮位上昇傾向は5.9mm/年である。

議論 28. 現代の科学で判ることは、地球が温暖化すると海面が上昇する可能性が高い。ただし、その理由は、北極や南極の氷が溶けるからではなく、海の水が膨張するからである（武田 2007a, p.125；武田 2007b）

<反論>

海水面の変化などに関して、遠藤ら（2006）、武田（2007a、2007b、2008a、2008b）において、さまざまな事実誤認にもとづく誤った主張が行われている。ここでは、それらに関して以下のように順に詳しい検証を行っていく。

議論 28-1. 氷の融解によって海面上昇はおこらない

議論 28-2. 極地は、北極海と南極大陸のみ

議論 28-3. 極地の氷によって海面水位は下降すると IPCC は主張している

議論 28-4. 環境白書は間違っている

議論 28-5. 新聞の報道は間違っている

議論 28-6. 南極の氷床収支は、よほど特殊な事態がないかぎりマイナスである

第3章 温暖化問題の科学的基礎

なお、遠藤ら（2006）とは、遠藤小太郎、吉田真吾、中島貴裕、行本正雄、武田邦彦（2006）「極地の氷の融解と海面水位変動に見る環境情報の伝達問題」日本金属学会誌第70巻第5号、420頁-426頁、の論文を示し、この論文に基づいて武田氏は一連の海水準に関する議論を展開している。

議論 28-1. 氷の融解によって海面上昇はおこらない

証拠 1. 現代の科学で判ることは、地球が温暖化すると海面が上昇する可能性が高い。ただし、その理由は、北極や南極の氷が溶けるからではなく、海の水が膨張するからである（武田 2007a, p.125；武田 2007b）

証拠 2. 「北極と南極の氷が解けて海水面が上がる」は間違い（武田 2008a, p.75）

証拠 3. 温暖化で海水面は膨張するので 10 センチは上がる（武田 2008a, p.75）

証拠 4. 「極地の氷が融けて海水面が上がる」がウソ（武田 2007c, p.105）

<反論>

確かに、遠藤ら（2006）や武田氏の一連の書籍が指摘するように、冰山（氷河などから氷が崩れ落ちて海に浮かんでいるもの）や海氷（海水が凍ったもの）の溶解による海面上昇に対する影響は「アルキメデスの原理」が適用され、非常に小さい。

しかし、陸上に存在する氷床や山岳氷河、氷帽にある氷が新たに融けて海に流れ込んだ場合や、陸上から海に冰山が入る時点では海面上昇が生じ、それらは無視できない大きさである。すなわち、海面上昇に関しては、「アルキメデスの原理が適用される氷」だけではなく、すべての「氷」が議論の対象となるべきであり、実際になっている。

なお、IPCC 報告書、たとえば最新の第4次評価報告書では、様々な要因の海面上昇への寄与度を明らかにしており、それによると、1993年~2003年に起きた海面上昇 (3.1 ± 0.7 mm/year) への寄与度は、熱膨張が 1.6 ± 0.5 mm/year、氷河と氷帽の融解が 0.77 ± 0.22 mm/year、グリーンランドの氷床融解が 0.21 ± 0.07 mm/year、南極の氷床融解が 0.21 ± 0.35 mm/year となっている（第3次報告書でも、氷全体の融解の寄与度はプラスになっている）。

議論 28-2. 極地は、北極海と南極大陸のみ

証拠. IPCC は「北極の氷」にグリーンランドを含めていない、ということだ。つまり IPCC が言う北極の氷は原則、海氷の事になる（武田 2008b, p.18）。

<反論>

遠藤ら（2006）、武田（2007a、2007b、2008a）には、「極地」の定義を「極地＝北極海と南極大陸のみ」とする根本的な誤認識がみられ、さまざまな誤解が生じている。

IPCC では、「極地」の定義を、北極は “the Arctic is defined as the area within the Arctic Circle. It covers the Arctic Ocean and the islands and northern continental land areas. Thus, it extends far enough south to include

第3章 温暖化問題の科学的基礎

parts of the boreal forest and discontinuous permafrost zone.”、同じく南極は、「ほぼ 58°S 以南」としている (IPCC 第3次評価報告書第2作業部会報告第16章 807 ページ)。また、IPCC 第3次評価報告書以外においても、学術上では一般的に、北極は、北極圏 (Arctic Circle)、もしくは 60°N 以北などと定義されている一方で、北極海のみを指す場合は北極海 (Arctic Ocean) として表されている。すなわち、IPCC や気象・気候学などの分野で用いられている定義では、極地は、北極海だけではなく、グリーンランド、北米大陸の一部 (アラスカなど)、ユーラシア大陸の一部 (シベリアなど) を含む。つまり、北極には、グリーンランドや永久凍土地域だけでなく、極地と定義される地域に包含される氷河も含まれる。また、IPCC において「北極の海氷」と「グリーンランド」の寄与は別項目として扱われているものの、両者とも「北極」に存在する「北極の氷」に相違ない。すなわち、武田 (2008b, p.18) の「IPCC が言う北極の氷は原則、海氷の事」という理解は根本的に間違っている。

議論 28-3. 極地の氷によって海面水位は下降すると IPCC は主張している。

証拠 1. IPCC は地球温暖化で気温が上昇すると極地の氷によって平均的には海面水位は下降すると報告している (遠藤ら 2006)。

証拠 2. 最新の IPCC 第4次報告書では、1961 年から 2003 年までのグリーンランドと南極の氷床の融解による海面上昇は合計して 0.19 mm/年で、海面水位を上昇させるという点では、影響は小さかったことが報告されている (武田 2007b, p.44)。

<反論>

遠藤ら (2006) では、地球温暖化の影響に関して、まず Abstract において “the IPCC concluded in their past three reports that the sea level was estimated to be lower because of ice in the polar regions” (原文ママ)、またその 3.2 において「IPCC 報告書で海面水位が低下する記述されていた極地の氷」(原文ママ) と、それぞれ記述している。一方、実際の IPCC 報告書では、例えば第三次報告書では、2100 年までの海面上昇量に対する極地の氷の融解による寄与度として、氷河：0.01~0.23 m (中央値 0.12 m)、グリーンランド：-0.02~0.09 m (中央値 0.04 m)、南極大陸：-0.17~0.02 m (中央値 -0.08 m) としている (IPCC 第三次報告書第一作業部会報告第 11 章 606 ページ)。すなわち、遠藤ら (2006) による IPCC 報告書記述と、実際の IPCC 報告書記述には相違がある。おそらく遠藤ら (2006) では、前述のように「極地=北極海と南極大陸のみ」と誤認識したため、実際には IPCC 報告書にない記述が IPCC 報告書には書かれていると断定したと思われる。

また、武田 (2007b) の文章には、以下のような問題もある。

第一に、「グリーンランドと南極の氷床による影響は、海面水位を上昇させるという点では小さかった」との記述 (p.44) は、IPCC 第4次報告書のどこにもない。武田の主観的な考えに基づいた文章だと思われるが、多くの読者は、「IPCC 報告書にそのような表現の文章が実際にあるのだろう」と誤解したと思われる。

第二に、武田は恐らく意図的に無視しているが、IPCC 第4次報告書の同じ箇所のすぐ横には「1993

第3章 温暖化問題の科学的基礎

年から2003年の10年間でグリーンランドと南極の氷床の融解による海面上昇はそれぞれ0.21 mm/年であり、合計すると0.42 mm/年」という数字が記述されている（IPCC第四次報告書第1作業部会/SPM, 表SPM-1）。そして、下記に抜粋したように、IPCC第4次報告書の結論は武田（2007a、2007b）の主張とは全く逆で、この10年間でグリーンランドと南極の氷床の加速度的な融解による海面上昇への影響が具体的に書かれている。

New data since the TAR now show that losses from the ice sheets of Greenland and Antarctica have very likely contributed to sea level rise over 1993 to 2003 (see Table SPM.1). Flow speed has increased for some Greenland and Antarctic outlet glaciers, which drain ice from the interior of the ice sheets. The corresponding increased ice sheet mass loss has often followed thinning, reduction or loss of ice shelves or loss of floating glacier tongues. Such dynamical ice loss is sufficient to explain most of the Antarctic net mass loss and approximately half of the Greenland net mass loss. The remainder of the ice loss from Greenland has occurred because losses due to melting have exceeded accumulation due to snowfall.

注：出所はIPCC第4次報告書第一作業部会SPM5頁右段。ちなみに、1993年から2003年の数字（0.42mm/年）は、武田が引用しているデータ（1961年~2003年で0.19mm/年）と違って、現在利用可能となった、改良された衛星観測や現場観測のデータ（共に1993年以前はなし。1993年以前は潮位計による計測）によるとも書いている。（These estimates are based on improved satellite and in situ data now available. SPM7頁左段）

海面上昇全体のなかで「極地の氷」の影響を考えるなら、IPCC第四次報告書によれば両極氷床の寄与は1.19 mm/年であり、熱膨張による影響の1.6 mm/年と比較して、決して小さいとは言えない数字である。すなわち、最新のより精度の高い衛星観測データを無視し、現時点においても熱膨張の影響のみを強調する武田の主張はミスリーディングである。

議論 28-4. 環境白書は間違っている

証拠 1. 日本政府は環境白書で、IPCC報告書と異なる表現を使っている（遠藤ら2006；武田2007a）

証拠 2. 日本の環境省の「環境白書」は、20年にわたってIPCCの発表データを反対の方向に「誤訳」し、日本国民をミスリードしてきたのである（武田2007c, p.105）

<反論>

「極地の氷と海面水位の関係についてIPCCと反対の記述になっている」（原文ママ）という遠藤ら（2006）の3.2.にある日本の環境白書批判も、極地の定義に対する誤った解釈に基づいていると思われる。実際に、IPCC報告書以降に発行された環境白書は、例えば1998~2003年のそれにおいて「海水の膨張や、極地や高山地の氷の融解」とあるように、すべての年度において正確な「極地」という言葉の定義に従って記述されている。したがって、極地の氷が海面上昇にプラスの影響を与えるとするIPCC報告書と、環境白書の記述あるいは環境省の見解には齟齬はなく、決して反対の記述にはなっ

ていない。

すなわち、遠藤ら（2006）の批判は、環境白書においては、陸域の氷の総称として「極地や高山地」となっている表現を、遠藤ら（2006）は、「極地」の表現のみを取り上げ、さらに、それを前述の「極地＝北極海と南極大陸のみ」との誤解釈により「環境白書が、極地の氷と海面水位の関係についてはIPCCと反対の認識になっている」と誤解して、環境白書が間違っていると勝手に決め付けているに過ぎない。

議論 28-5. 新聞の報道は間違っている

証拠 1. 新聞は極地の氷が融解して海面水位が上昇するという記事を出しているが、その根拠は明らかではない（遠藤ら 2006）

証拠 2. 一般市民は地球温暖化によって極地の氷が融解し、海面水位が上昇すると認識している（遠藤ら 2006）

<反論>

遠藤ら（2006）では、一定期間の朝日新聞の記事を集計し、海面上昇の原因記述があった96件のうち、主要なもので、北極の海氷34件、南極55件、グリーンランド34件、氷河31件、熱膨張34件であったとしている。つまり、集計結果は、原因記述は重複しながらも、むしろ海面上昇の原因に関する報道において、新聞は非常にバランスがとれていることを示している。ところが遠藤ら（2006）の考察では、「新聞記事は一貫して海面水位は極地の氷によって上昇すると記載しており、市民は気温が上昇すると氷が融解し、海面水位は上昇すると認識していると結論できる」としているが、そもそも、この結論は自らの集計結果と矛盾している。

また、明日香ら（2009）も、遠藤ら（2006）の手法に従い、集計の再現を試みた。遠藤ら（2006）の「地球温暖化による海面水位の変化に関する記述のあるものを該当記事とした」手法は、集計に恣意を挟む余地があり、遠藤ら（2006）の集計と、著者らの集計では若干の差が生じる事が確認され、以下のように遠藤らの手法の再現性に疑問が持たれる。

たとえば、筆者らの集計では、Arctic Sea Iceと分類される記事は、実際には3件前後（文意解釈の幅により異なる点も注意を要する）に過ぎなかった。しかし、ここで、すでに述べた遠藤ら（2006）の誤った極地の定義を仮に適用した場合、少なくとも19件ある「極地」との記載、さらに、少なくとも10件ある「北極」との記載を含み、計32件となり、遠藤ら（2006）の34件とほぼ合致した。このことから、遠藤ら（2006）が「極地」の定義を誤って解釈していると言える。また、例えば、ラルセン棚氷の崩壊による海面上昇の加速を報じている科学記事なども「南極の海面上昇という誤った報道の一つ」としてカウントしていると考えられ、遠藤ら（2006）の手法は、文脈を無視して集計している点でも不適切と言える⁶。

⁶ ただし、1) 遠藤ら（2006）が用いたデータベースや検索方法が筆者らのものとは完全には一致していない、2) 文意解釈の幅によっても件数が異なる、などの可能性がある点は注意を要する。

第3章 温暖化問題の科学的基礎

ところで、この再検証によって、北極海の海氷の融解により海面水位の上昇が生じるとする3件前後の記事が実際に見られたことは確かである。その3件程度の記事が、どの程度の影響を与えたのかの評価は難しい。しかし、それと同時に、武田（2007a、2007b、2008a、2008b）において「極地＝北極海と南極のみ」と誤った認識で、おそらく多大な誤解を一般市民に与え続けてきたことも大きな問題だといえる。

議論 28-6. 南極の氷床収支は、よほど特殊な事態がないかぎりマイナスである。

証拠. (IPCC 報告書の記述として)よほど特殊な事態がない限り、南極の氷は増える(武田 2008b, p.18)。

<反論>

確かに、南極の氷床の収支に関しては、いまだ不確実性が高く、IPCC AR4 政策決定者用要約 (SPM) 12 ページにおいては以下のような記述となっている。

Current global model studies project that the Antarctic Ice Sheet will remain too cold for widespread surface melting and is expected to gain in mass due to increased snowfall. However, net loss of ice mass could occur if dynamical ice discharge dominates the ice sheet mass balance.

この文章では、降雪量の増加は見込まれているものの、現在のモデル計算では、現実に観測されている氷床の流出速度の増加が加味されていないこともはっきりと記されている。すなわち、少なくとも、武田（2008b, p.18）の「よほど特殊な事態」と、非常に生じる確率が低いと思わせるような表現を IPCC は使っていない。

以上、海面上昇に関して、武田（2007a、2007b、2008a、2008b、2008c）では、最新の研究成果や IPCC の報告書の内容について正確に触れずに、過去の研究成果および一部の都合の良い数字のみを、一見客観的に見えるものの、実は主観的な表現を交えて社会に紹介しているように思

第4章 温暖化対策の優先順位

「貧困問題のように、温暖化問題よりも重要な問題がある」というのは、懐疑論者や温暖化対策に消極的な人々が用いる常套句である。確かに、世の中には様々な問題群があり、それら間での優先順位付けは容易ではない。実際に順位付けを行う場合も、個人的な価値判断が入ることは否めない。しかし、温暖化問題に関する基本的な事実や他の問題群との相関関係に関する無理解、あるいは意図的に無視したような議論が少なくない。そして、このような議論は、結局、責任逃れの口実となって温暖化対策の先延ばしをもたらすことになり、温暖化による被害をより直接的に被る貧しい人々の状況をより深刻化する。本章では、これらの「温暖化対策の優先順位は高くない」という主張について具体的な反論を行っていく。

議論 29. 様々な世界的な問題の中で、気候変動の優先順位は必ずしも高くはない。コペンハーゲン・コンセンサスでは、気候変動が最低の優先順位であった（Lomborg 2005；山口 2006；Crichton 2007；Lomborg 2007）。

<反論>

2004年5月にコペンハーゲンにてデンマークの統計学者であるビヨルン・ロンボルグが主宰した会議でのコンセンサスが、いわゆるコペンハーゲン・コンセンサスである。この会議では、人類が直面している「10の問題」を抽出し、ノーベル経済学賞受賞者4名を含む経済学者8人が、総額500億ドルをこの10件の問題に配分するための優先順位と金額を決めた。優先順位の高かったのは、AIDS（後天性免疫不全症候群）問題、飢餓問題、貿易自由化、マラリア対策の順であり、温暖化問題は最下位で配分額はゼロであった。この結果は温暖化に関する懐疑論者を大いに元気づけ、コペンハーゲン・コンセンサスは彼らによってしばしば引用されている。

このコペンハーゲン・コンセンサスには、主に「費用便益分析の問題」と「問題設定方法の問題」の2つの問題がある（人選の問題や軍事費などと比較して金額が小さいという問題もあるがここでは省略する）。第1の費用便益分析に関する問題は、割引率や貨幣価値化の問題であると同時に、原因も影響も相関関係も複雑な問題群に対して費用便益分析を行うことに果たして意味があるのだろうかという根本的な問題でもある（環境問題などに対して費用便益分析を行うことの問題点に関しては、例えば Ackerman and Heinzerling 2005 を参照せよ）。第2の問題設定方法に関する問題だが、貧困問題やAIDSと気候変動問題を並べて、実質的にどちらか一つだけを選べと問われれば、（3秒間に1人が栄養不足で死んでいるという現状を多少なりとも知っていれば）貧困問題を選ぶ人の方が多くなるのは理解できる。

しかし、例えば、貧困と気候変動は、時間的スケールや不可逆性が全く異なる問題であり、かつお互いに排除する（重なりがない）問題でもない。すなわち、この2つはトレード・オフの関係にはない。なぜなら、多くの場合、気候変動対策あるいは地球温暖化対策を実施することは、大気汚染対策や貧困解消に大きく貢献するからである。例えば、現在、世界全体で10数億人の人々が無電化地域に住み、薪、動物の排泄物、石炭などを燃料として調理などを行っている。しかし、薪などの収集は多くの時間を要するため雇用機会を奪っている。また、これらの燃料の室内での燃焼による大気汚染は、特に調理に関わる時間が長い女性と子供の健康を大きく損なっている（世界保健機関によると、途上国では年間約300万人が室内大気汚染によって死亡している）。このような地域を、風力、水力、太陽光、バイオマスなどの再生可能エネルギーによって電化するプロジェクトは、貧困問題、雇用問題、大気汚染問題、そしてエネルギー安全保障問題など多くの問題を同時に解決する（温暖化対策批判者は、このような副次的ベネフィットを生み出す相関関係に関する知識が乏しい、あるいは意識的に無視しているように思われる）。

このような意味で、「貧困問題か気候変動か」というような問題設定は、言い換えれば「人間にとって水と食べ物はこちらが大事か」という無意味な問いに似ているように思われる。言うまでもなく、

第4章 温暖化対策の優先順位

多くの食べ物は水分を含んでおり、答えは「両方とも非常に大事」でしかありえない。そして、実際に私たちがとる行動は、やはり（自分たちの遊興費などを切りつめるなどして）なんとか両方のためにお金を用意するというものだと思う。

なお、日本政府の予算の中で「地球温暖化対策」という特別な予算枠があるように誤解して考えている人が少なくないように思われる。しかし実際は、各省庁の予算の中で、温暖化にも役立つようなもののかき集めて、とりあえず名前をつけたのが「地球温暖化対策予算」の実情である。したがって、毎年、ほぼ1兆円程度の「予算」の中身は、1) 経済産業省・文部科学省管轄の省エネ・新エネ導入（原子力開発利用の推進、電源立地対策、放射性廃棄物基準調査などの原子力エネルギー関連予算を含む）などのエネルギー関係が全体の約4割（原子力関係は全体の約2割）、2) 農水省管轄の森林整備が全体の約4割、3) 国土交通省管轄の交通インフラ整備が全体の約1割、の3つで約9割を占めており、本当に温暖化対策なのか？と疑問に思われるものも含まれている。

重要なのは、これらの予算あるいは施策の大部分は、たとえ温暖化という問題が世の中に存在していなくても、計上あるいは実施されていたものだけということである。すなわち、地球温暖化対策だけのための施策というのは、現時点では、先進国でも途上国においてもほとんど実施されていない（将来的に、温暖化対策を主とした施策としてCO₂地中貯留が実施される可能性はある。しかし、そのような状況が起こるのは早くても10数年先だと予想される）。

対途上国援助の場合も、温暖化対策に資する援助が他の種類の援助を駆逐しているケースは少ない。そもそも、現時点での途上国援助全体に占める温暖化対策関連援助プロジェクトの割合は数%であり（Roberts 2008）、それらもエネルギー関係が大部分であって温暖化対策を主目的とするものではない（Michaelowa and Michaelowa 2009）。

また、この「温暖化対策関連の援助が他の種類の援助を駆逐する」という問題に関しては、少なくともすべての途上国と、（日本と数カ国の先進国を除く）ほとんどの先進国は「温暖化対策に資する援助は、既存の援助に対して追加的であるべき」と国際社会に対して明確な意思表示を行っている。すなわち、多くの国が、既存の海外開発援助（ODA）の温暖化対策分野の援助への流用を禁止しており、温暖化対策分野の援助と、他の分野の援助がトレード・オフとならないように配慮する方針を明らかにしている。

そのような方針を明確にしていないという意味で例外的とも言える日本のODAだが、地球温暖化対策に資する援助の相対的な割合も絶対額も他の先進国に比較して大きい（Roberts 2008）。また近年では、堤防建設などの温暖化被害に対する「適応」関連の援助も増加傾向にある。しかし、これは、1) もともとインフラ重視かつ借款中心の日本のODAでは、エネルギー関係案件や災害対策案件の割合が他の先進国に比べて高い、2) ODAは減額すべきという国民世論や財務省方針のもと、温暖化対策という名目があればODAの減額を防ぐことができる、というODA予算を巡る日本特有の状況が大きな理由になっていると思われる（もし温暖化問題が存在しなかったら、今の日本のODAの減額ペースはより速まったと推察される）。

したがって、前述の「既存援助予算の温暖化対策への流用」に対する日本独自の（甘い）方針も、

第4章 温暖化対策の優先順位

これ以上 ODA 予算を減らさないための現実的な「苦肉の策」とも考えられる（ODA 流用問題に関しては、杉山大志・石井敦・明日香 2001、Asuka 2000、明日香 2001、温暖化対策分野援助と ODA 全体を巡る最近の状況に関しては Michaelowa and Michaelowa 2009 などをそれぞれ参照せよ）。

いずれにしろ、地球温暖化対策と援助を巡る実際の状況は、経済学的なトレード・オフ論で片付けられるような単純なものではない。

論法の威力を考えると、「貧困問題の方が大事」という論法は、途上国の貧困問題や災害救助活動などの喫緊の問題を持ち出すことによって、あらゆるものの重要性を貶めることができるかなり強力な論法である。しかし、たとえば、ロンボルグの主張を支持するような先進国の保守的シンクタンクの多くは、途上国に対する海外援助の必要性を積極的には支持していない。すなわち、建設的な議論というよりも、気候変動問題の重要性を否定するための「方便」として、途上国の貧困問題が一時的に利用されているように思われる。

8 人の「賢者」は全て経済学者であり、会議の全体像をまとめた本“Global Crises, Global Solutions (Lomborg 2005)”の最後にある 8 人の気候変動に関するコメントなどを見ると、費用便益分析云々以前に、温暖化問題に対する知見を持っているかどうか疑問である。例えば、「(冷却効果を持つ) エアロゾルを空中に散布することを検討すべき。そもそも我々よりもリッチである将来世代のために私たちが費用を払うのはナンセンスだ」(参加者の一人である Thomas Schelling によるコメント：Lomborg 2005, p.627) や「100 年後の人間は、現在の人間よりも賢いから対策を遅らせても問題ない」(同じく参加者の一人である Vernon Smith によるコメント：Lomborg 2005, p.635) といった、サイエンスの面からも倫理的な面からも疑義があるコメントがなされている。

いずれにしろ、気候変動が最下位になったからといって「何もしなくてもよい」と解釈することは、ただの問題先延ばしであり、温暖化懐疑論を利用して責任を回避しようとする利害関係者の術中にはまることになる。

ちなみに、2005 年 1 月スイスでのダボス会議参加者の世界重要問題優先順位付け投票（14 の問題からトップ 6 を選ぶというもの）の結果は、上から順に貧困解消、公平なグローバリゼーション、気候変動、教育、中東、グローバル・ガバナンスであった。また、2007 年 1 月のダボス会議での参加者投票では、気候変動問題は「世界に与える影響が大きい」との回答が 38%、「国際社会の対応が不十分」との答えが 55%で、他の 10 項目を抑えて最も多かった。

議論 30. 「人類社会にとって寒冷化の方が問題である」(植田 2006) 「生物にとっては今の地球は冷たく、もう少し暖かくなった方がよいという全体的な傾向がある」(武田 2007, p.153)。

<反論>

寒冷化はもし起これば確かに人類にとって重大な問題である。しかし、今後約百年の間に起こる可能性は温暖化に比べてずっと低いと考えられている。70 年代に言われた長期寒冷化説は主に、1 万年から 10 万年くらいの周期帯の間氷期から氷期への移行のことを念頭において行われている。(公転軌

第4章 温暖化対策の優先順位

道と自転軸の変化の可能性に関する最新の推定によると) 約 2 万年後に起こるとされている氷期の到来⁷と、100 年以内の温暖化とどちらを想定して将来に備えるべきかは明らかである。また、温暖化によるコストとベネフィットは、受益者と被害者がそれぞれ誰なのかという公平性の観点などから十分に検討されるべきである。なお、現在のような急激な二酸化炭素濃度の上昇が続けば、自然現象である氷期-間氷期サイクルにも何らかの狂いが生じると考える方が自然である。なお、温暖化に関する科学的理解は確かに進んだ(精度が上がった)ことを理解するには Weart (2003) が参考になる。

議論31. 炭鉱の閉山が始まっている。炭鉱はいったん閉山したら、坑道がくずれて回復できない(樋田 2006)。

<反論>

炭鉱は、コスト競争力や大気汚染防止などの様々な理由で閉山されている。たしかに、閉山後の再開は容易ではなく、落盤やガス爆発事故が起こる可能性も高くなる。しかし、基本的には技術の問題であって、再開に際して安全管理などにコストをどれだけかけるかという経済的な問題でもある。閉山後に問題なく再開した事例はあり、回復できないということはない⁸。

議論 32. 「長期的には適当な削減方式、短期・中期的には適応方式、というのが現実的」(伊藤 2006, p.42)

<反論>

まず伊藤(2006)では、「短期」「中期」「長期」「社会の持続性」「現実的」「地域的」「局所的」「多様性」「マクロ」「ミクロ」「適当」などの曖昧な言葉が十分な説明のないままに多用されており、論理的な議論や反証が困難な文章となっている。例えば、短期や中期というのは、何年程度を想定しているのか。「社会の持続性」とは何なのか。「現実的」という概念は主観的なものであり、だれもが自分の主張は「現実的」と考えているのではないだろうか。

また、伊藤(2006)が言う「長期的には適当な削減方式、短期・中期的には適応方式、というのが現実的」(p.42 上から 20 行目)は、恐らく「現時点では、局所的な適応策を行うべきであって温室効果ガスの排出削減のような緩和策は不要である」と解釈しうる。しかし、適応策は、いわゆる対症療法であり、緩和策は、原因物質を取り除く根本的な治療である。両者は性質が全く異なるものであり、二者択一ではないし、どちらか一つだけでよいというものでもない。また、対症療法が優先されるのは、1) 原因が不明、2) 根本的な治療の実施が技術的あるいは経済的に不可能、の二つの場合である。現在、不確実性はあるものの、温暖化の原因としての二酸化炭素の重要性は否定されておらず、その

⁷ 例えば、Berger and Loutre (2002)。

⁸ 炭鉱事故は、閉山が関係する場合も関係ない場合もある。確かに、世界中で起きている炭鉱事故(推定死者年間 1 万人以上)の問題は非常に深刻であり胸が痛む問題である。しかし、それと「温暖化対策の必要性」とは異なる問題である。

第4章 温暖化対策の優先順位

削減も不可能とは言い難い。逆に、「削減を遅らせば遅らせるほど、社会構造の急激な変化を伴わざるを得ないような大幅な削減が必要となり、経済的にもより多額のコストが必要」「温暖化による被害金額が温室効果ガス排出削減コストを大幅に上回るため早期の削減策の実施が経済合理的」という結論を示している研究もある。

さらに、伊藤（2006）は、地域的・局所的な適応政策について「コスト的に有利」（p.42 左段下から19行目）と書いている。対症療法と根本的な治療のコストを単純に比較するのは無意味であり、かつ対症療法のコストも決して小さいものではない。例えば、適応策として考えられる堤防建設であるが、日本の海岸地域に堤防を作る費用は約11兆円と見積もられている（海面上昇が90センチメートルの場合）。このようなコストが小さいか大きいかは自明ではない。伊藤（2006）は、「局所的な社会・生態系は複雑系」（p.41 右段下から5行目）とも書いている。もし、ここで用いられている「複雑系」という言葉が「不確実性」も同時に意味するものであれば、効果的に対症療法的な対応を講じるのは容易ではなく、コストの正確な計算も困難なはずである。

したがって、「現時点では、局所的な適応策を行うべきであって温室効果ガスの排出削減のような緩和策は不要である」というのは、現状から論理的に導かれるものではなく、価値判断が入った非論理的なステートメントであるように思われる。緩和策を早急に行わないことは対策の単純な先送りであり、産油国や化石燃料業界、そして温暖化問題における加害者と考えられる一人あたりの排出量が多い人々などの既得権益を持つ特定の人々を利するだけである。

議論 33. 「温暖化問題とエネルギー問題とのデカップリングが必要」（伊藤 2006, p.41）

<反論>

繰り返し強調しているように、二酸化炭素の排出削減対策の多くは、省エネやエネルギー多様化を促すものであり、エネルギー安全保障の強化につながる。また、逆もまた然りである。お互い正の相関関係があって、かつ、両者とも推進するのが重要と考えるのであれば、副次的効果としてお互いの関係性を重視して、カップリングを考慮するのは当然といえる。デカップリングが必要というのであれば、どちらかを重要と考えていないことになるが、伊藤（2006）では明示的に書かれてはいない。いずれにしろ、価値判断が関わるものであり、デカップリングの必要性は自明のことでは全くない。

（担当執筆者：明日香壽川）

5. 京都議定書の評価

「京都議定書は日本にとって不平等条約である」「京都議定書を守っても温暖化防止効果はない」というのも、懐疑的な見方をする人々が用いる常套句である。たしかに、「平等かどうか」の判断は主観的な要素も含むため難しい。しかし、日本に限らず、おそらくほとんどの国が、京都議定書は自国にとって不利だと考えていると思われる。また、多くの批判者が、京都議定書の内容や（日本を含めた）各国の状況を理解していない。さらに、確かに京都議定書を守るだけでは、温暖化対策としては不十分だと思われる。しかし、そのことが「京都議定書は無意味だ」という結論を論理的に導くことはない。本章では、いわゆる京都議定書批判について、事実と論理をもとにコメントする。

議論 34.「京都議定書はとてつもない不平等条約である」(伊藤・渡辺 2008, p.222 ; 武田 2007a ; 武田 2007b ; 武田 2008c)「日本のような省エネが進んだモデルのような国では、これ以上、二酸化炭素排出は減らない」(養老 2007, p.49)

<反論>

1970年代のオイル・ショック以降、日本はかなりの省エネ化が進めたとされるが、それと同じくらいに欧州の国々も省エネ化を進めている。日本国民の方が環境意識は高い、日本政府の温暖化施策の方が実効性はある、日本だけが温暖化対策に熱心に取り組んでいる、といった議論は、世界各国の実情や構造的な違い、そして実際のデータを無視した自己中心的、あるいは「井の中の蛙」的な議論である。すなわち、日本が省エネ大国とか温暖化対策大国とか環境大国というのは神話の部分が少ない。

しばしば、イギリスは天然ガスへの転換、ドイツは東西統一のおかげで京都議定書の目標達成が容易だとも言われる。しかし、そのイギリスとドイツの京都議定書の数値目標に関して言えば、欧州連合(EU)全体での削減数値目標はマイナス8%であるものの、欧州連合(EU)の国の中の分担ではさらに厳しい目標を課せられていて、イギリスはマイナス12.5%、ドイツはマイナス21%とそれぞれなっている(ともに1990年を基準年)。一方、日本は、ほぼ日本だけのための特別権利のようなものとして森林吸収分としてマイナス3.8%を得たため、実質はマイナス2.2%(-3.8+6)とも言える。だから、この数値だけから判断すると、日本はかなり有利とも考えられる。

温暖化対策の分野で、日本あるいは日本政府が必ずしも優等生ではないことは、もう少し定量的な議論でも補足できる。例えば、国全体の二酸化炭素排出量が増減する要因としては、1)人口、2)一人あたり所得、3)化石燃料の中の石炭の割合、4)1次エネルギーの中での化石燃料の割合、5)GDPあたりのエネルギー消費量、の5つが考えられる。前の二つの人口や一人あたりの所得は、政府の温暖化政策によって変えることは実際にはできないが、後の三つは、政府が適切な施策を講じれば変えることができる。したがって、前の二つの要素と後の三つの要素の比をとって各国の政策のパフォーマンスを定量的に比較することが可能である。実際に、世界銀行が、この方法を用いて、1994年から2004年までの10年間における世界の排出量上位70カ国の政府施策パフォーマンスを順位付けしている(World Bank 2008)。これによると、イギリスやドイツは政策によって温暖化対策を進めたことがわかるものの、日本は、主に、3番目の要素である化石燃料の中の石炭の割合が増えたために、上位70カ国中61番目になっている。実は、上位70カ国では、日本とイランが化石燃料の中の石炭の割合を他国に比べて極端に増やしている。

日本で石炭の消費が急激に増えた理由は、石炭火力発電が急激に増えたためであり、それは企業と国が、他のエネルギーよりも石炭を選んだからである。もちろん、石炭が持つ特性(低価格およびエネルギー安全保障への貢献)は魅力的である。ただし、他の国にとっても魅力的であるという意味で条件は同じであり、結局、日本の場合、温暖化対策の優先順位が他国、特に他の(ブッシュ政権時の米国をのぞく)先進国に比較して低かったと考えざるをえない。実際に、化石燃料に課せられている

第5章 京都議定書の評価

税金は、日本の場合、先進国の中でもかなり小さい（表参照）。

表 CO₂ 排出量 1 トンあたりの税額（2008 年 7 月時点）

	ガソリン	軽油	重油	石炭	天然ガス
日本	24052	13034	753	291	400
イギリス	45543	40368	7200	1083	1820
ドイツ	45388	28915	1458	587	1930
デンマーク	38651	25506	17429	15256	23692

単位：円

出所：環境省（2008）

さらに、しばしば日本に不利だと指摘される 1990 年という基準年も、逆に日本に有利なのは、という議論もある。なぜなら、日本にとっての 1990 年というのは、景気が良いバブルのときだったからである。実際に、削減目標を達成するために、日本とイギリスとドイツが何年前までの排出量に戻らなければいけないかという、日本は 1990 年の 2 年前の 1988 年だが、イギリスは 1947 年、ドイツは 1960 年の排出量までに戻す必要がある。

そもそもどうして 1990 年が基準年になったかという、1992 年に日本政府も署名した気候変動枠組条約の中に「1990 年比で 2000 年までに増加量をゼロ%にする」という目標があるのが大きな理由である。すなわち、この条約で、はじめて国際社会全体が、温暖化問題を重要な問題と認識して温暖化対策に真剣に取り組もうと約束した。だから、1997 年の京都会議で、その 1990 年を再び使ったというのは、それほどおかしな話ではない。

最後に、「省エネが進んでいるから排出削減しなくてよい」という議論には、排出の責任という観点が抜けていることを指摘したい。すなわち、現在、人類に問われているのは排出量の総量削減であって、汚染者負担原則に基づけば、一人あたりの排出が多ければ、省エネの進捗度とは関係なく、排出を削減する義務が生じる。もちろん、排出削減の公平性をどのように担保するかは交渉マターでもあり単純ではない。しかし、少なくとも省エネ進捗度だけが公平性の指標ではないことは確かである。

議論 35.「京都議定書を守っても温暖化対策の効果はない」（池田 2006, 渡辺・伊藤 2008, p.224-p.226 ; 武田 2007a ; 武田 2007b ; 武田・丸山 2008 ; 池田・養老 2008）

<反論>

京都議定書の意義は、それまでは掛け声やスローガンにすぎなかった努力目標を、法的拘束力や罰則がある国際約束に変えたことである。京都議定書の排出削減の中身が不十分だとか、特定の国に有利だとか、一部そういう事実はあるものの、そのような批判は、例えて言えば、生まれたばかりの赤ちゃんに対して、髪の毛がないとか、歩けないとか、言葉がしゃべれないとか、そういうような言うのと同じレベルの批判である。また、そういう批判をしている人の多くが、かつて京都議定書の排出

第5章 京都議定書の評価

削減を厳しいものにならないように画策していた。だから、自分たちで効果を無理矢理小さくしたことには知らんぷりしながら、「効果が小さい」と言って批判しているようなおかしい状況とも言える。

なお、「日本が京都議定書の数値目標を守っても全体的な影響は小さい」という議論は、まず日本が世界第4位の温室効果ガスの「大排出国」であることに対する事実認識がない。また、「小さな部分にどんどん分解すれば、どんなものでも部分が全体に与える影響が小さくなるのは当然である」という意味で非論理的であり、「一人だけ悪事を働いても全体的な影響は小さいから問題ない、と主張しているのと同じである」という意味で非倫理的である。

(担当執筆者：明日香壽川)

最後に

産業革命以降 1 度以上の気温上昇で珊瑚礁は白化が始まるとされており、すでに白化現象の世界的な多発が報告されている (Graham *et al.* 2006)。また、2005 年 12 月には、初めて国連が公式に移民を援助した高潮難民 100 人がバヌアツ共和国で発生した。すなわち、温暖化の被害はすでに現実のものとなっていたり、あるいは近い将来に起こることが予想されたりするものとなっており、決して 50 年後や 100 年後のような遠い将来のことではない。

一方、2006 年 3 月 29 日のホワイトハウスでの記者会見にてブッシュ前米大統領は、温暖化が起きていることは認めるものの、人為的二酸化炭素排出が原因であることを疑うような発言をしている。すなわち、懐疑論者と同じことを公式の場で発言している。そのブッシュ前大統領に関して、彼に実質的に解任されたポール・オニール元財務長官（世界最大のアルミ精錬会社アルコアの CEO を 13 年間務めた）は「米国が京都議定書から離脱した理由は、温暖化対策が石炭・石油業界などのブッシュ政権の支持基盤の利益に背くと大統領およびチェイニー副大統領が判断したため」という趣旨の発言をしている (サスキンド 2004, p.160)。

このように、温暖化対策を遅らす余裕を人類は持たないはずなのに、ドロドロとした政治や利益集団、そして彼らに意識的、あるいは無意識的に操られた懐疑論者が足を引っ張っている。しかし、温暖化対策を進めることは、温暖化防止のためだけではなく、本稿でも述べてきたように資源の有効利用、貧困削減、そしてエネルギー安全保障という側面でも非常に重要な意味を持つ。したがって、自己利益だけのために温暖化対策に反対する人々に都合よく使われ、温暖化対策は必要不可欠という社会意識の醸成を阻むボディブローのように効いている懐疑論に対しては、（疲れるなど思いつつも）一つ一つ丁寧に反論をしていかねばと思う。

謝辞：本稿を書くに当たっては、小倉正氏、伊藤幸喜氏に多大なご協力を頂きました。また、気象研究所の石原幸司氏から貴重な情報を頂きました。ここに感謝の意を表します

最後に

参考文献

- Ackerman F. and Heinzerling L. (2005) “Pricing the Priceless: Cost-Benefit Analysis of Health, Safety, and Environmental Protection”.
- (<http://www.progressiveregulation.org/perspectives/costbenefit.cfm>) 2009.4.14.
- Ahn, J., and E. J. Brook (2008) “Atmospheric CO₂ and climate on millennial time scales during the last glacial period”, *Science*, 322 (5898), 83-85.
- 会田勝 (1982) 『大気と放射過程』東京堂出版, 280 pp.
- 赤祖父俊一 (2008) 『正しく知る地球温暖化』誠文堂新光社, 183pp.
- 赤祖父俊一 (2009) エネルギー・資源学会 『エネルギー・資源』30(1) 通巻173号および30(2)通巻174号での誌上討論. (<http://www.jsr.gr.jp/>)
- Alpert P., P. Kishcha, Y. J. Kaufman, and R. Schwarzbard (2005) “Global dimming or local dimming?: Effect of urbanization on sunlight availability”, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L17802.
- Andronova N. G., and M. E. Schlesinger (2000) “Causes of global temperature changes during the 19th and 20th centuries”, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 2137–2140.
- (<http://www.agu.org/pubs/crossref/2005/2005GL023320.shtml>)
- 明日香壽川 (2001) 「CDM/ODA/公的資金問題について」
<http://www2s.biglobe.ne.jp/~stars/>
- 明日香壽川, 吉村純 (2006) 温暖化問題に関する討論会発表資料.
(<http://www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/>)
- 明日香壽川, 吉村純, 増田耕一, 河宮未知生, 江守正多 (2006) 「経済学者でもわかる地球温暖化問題懷疑論へ反論」『経済セミナー』2006年8月号, 44-50, 日本評論社.
- 明日香壽川, 神保哲生 (2007) 「温暖化懷疑論に向かい合う」科学 77(7) 737-748, 岩波書店.
- 明日香壽川, 山本政一郎, 朝山慎一郎 (2009) 「遠藤小太郎ら (2006) 論文「極地の氷の融解と海面水位変動に見る環境情報の伝達問題」の中の誤解について」日本金属学会誌に投稿中.
- Asuka J. (2000) “How to make CDM additional to ODA”, *Joint Implementation Quarterly*, Vol.6, No.3, p.8, Joint Implementation Network, Holland.
- Aung, T., Singh, A. and Prasad, U. (2009) “Sea level threat in Tuvalu”, *American Journal of Applied Sciences*, 6(6), 1169-1174.
- Bard E., and G. Delaygue (2008) Comment on "Are there connections between the Earth's magnetic field and climate?" *Earth Planet. Sci. Lett.*, 265, 302-307.
- Baxter M. S. and Walton A. (1970) “A theoretical approach to the Suess effect”, *Proc. Roy. Soc. London*, A318, 213–230.
- Berger A. and M. F. Loutre (2002) “An exceptionally long interglacial ahead?”, *Science*, 297, 1287-1288.

参考文献

- Bousquet, P. et al. (2000) “Regional changes of CO₂ fluxes over land and oceans since 1980”, *Science*, 290, 1342-1346.
- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett and P.D. Jones (2006) “Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850”, *J. Geophys. Res.*, 111, paper D12106, 21 pp.
- Boykoff, J. and Boykoff, M. (2006) “An Inconvenient Principle”. CommonDreams.org.
<http://www.commondreams.org/views06/0706-26.htm>
- Caspersen, J.P. et al. (2000) “Contributions of land-use history to carbon accumulation in US forests”, *Science* 290, 1148-1151.
- Church J. A. and N. J. White (2006) “A 20th century acceleration in global sea-level rise”, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01602, doi:10.1029/2005GL024826.
- Ciais, P. et al. (1995) “A Large Northern Hemisphere Terrestrial CO₂ Sink Indicated by the ¹³C/¹²C Ratio of atmospheric CO₂”, *Science*, 269, 1098-1102.
- Crichton, Michael (2007) “Global warming is not a crisis”, debate organized by the Intelligence², Wednesday, March 14, 2007, *Asia Society and Museum, New York City*
(<http://www.intelligencesquaredus.org/Event.aspx?Event=12>)
- Damon P.E., Long A., and Wallick E.I. (1973) “On the magnitude of the 11-year radiocarbon cycle”, *Earth Planet. Sci. Lett.* 20, 300–306.
- Damon, Paul.E and Laut Peter (2004) “Pattern of Strange Errors Pagues Solar Activity and Terrestrial Climate Data”, *Eos*, 85(39)
- Durkin, M. (2007) “The Great Global Warming Swindle.”イギリスのテレビ局Channel 4で放送された番組で、Durkin氏が監督をつとめた。すでにDVDが発売されている。
- 江守正多 (2007) 「コンピューターを使った天気予報と気候予測の違い」地球環境センター：Q&Aコーナーが知りたい温暖化, 2009.4.14.
(http://www-cger.nies.go.jp/qa/1/1-1/qa_1-1-j.html)
- 江守正多 (2008) 『地球温暖化の予測は「正しい」か? - 不確かな未来に科学が挑む』化学同人, 238 pp.
- 江守正多 (2009) エネルギー・資源学会『エネルギー・資源』30(1) 通巻173号および30(2)通巻174号での誌上討論. (<http://www.jsesr.gr.jp/>)
- 遠藤小太郎, 吉田真吾, 中島貴裕, 行本正雄, 武田邦彦 (2006) 「極地の氷の融解と海面水位変動に見る環境情報の伝達問題」日本金属学会誌 70 (5) , 420-426.
- Feely Richard A., Wanninkhof Rik, Takahashi Taro, Tans, Pieter (1999) “Influence of El Nino on the equatorial Pacific contribution to atmospheric CO₂ accumulation”, *Nature*, 398, p.597.
- Foster, G., J. D. Annan, G. A. Schmidt, and M. E. Mann (2008) “Comment on Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system by S. E. Schwartz”, *J. Geophys. Res.*, 113, D15102.
- Foukal P, G North and T Wigley (2004) “A stellar view on solar variations and climate”, *Science*, 306, 68-69.

参考文献

- Foukal P., C. Fröhlich H. Spruit and T. M. L. Wigley (2006) “Variations in solar luminosity and their effect on the Earth’s climate”, *Nature*, 443, 161-164, doi:10.1038/nature05072.
- Francey R. J., C. E. Allison, D. M. Etheridge, C. M. Trudinger, I. G. Enting, M. Leuenberger, R. L. Langenfelds, E. Michel, and L. P. Steele (1999) "A 1000-year high precision record of d13C in atmospheric CO2", *Tellus*, 51B, 170-193.
- Freyer, H. D. (1979) “Variations in the Atmospheric CO₂ Content”, in *The Global Carbon Cycle* (Chapter 2), B. Bolin, E. T. Degens, S. Kempe, and P. Katner (eds.), SCOPE 13, Wiley, 491pp.
(<http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope13/chapter03.html#abs>)
- Fröhlich, C. and Lean, J. (2004) “Solar radiative output and its variability: evidence and mechanisms”, *Astron. Astrophys. Rev.* 12(4), 273-320.
- 福田正己 (2005) 「温暖化ガスに関わる永久凍土攪乱の制御技術」 *エネルギー・資源*, 26, 40-44.
- Graham, Nicholas A.J. et al. (2006) “Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems”, *PNAS*, 103, 8425 - 8429.
- Gray L. J., Haigh J. D and Harrison R. G. (2005) “The Influence of Solar Changes on the Earth's Climate”.
Hadley Centre, Technical Note 62, January 2005.
(<http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/pubs/HCTN/index.html>)
- Gregory J.M., H.T. Banks, P.A. Stott, J.A. Lowe and M.D. Palmer (2004) “Simulated and observed decadal variability in ocean heat content”, *Geophys. Res. Lett.* 31, L15312.
- Hadley Centre (2005) “Climate change and the greenhouse effect”, A briefing from the Hadley Centre, December 2005.
(<http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/pubs/brochures/>)
- Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, M. Imhoff, W. Lawrence, D. Easterling, T. Peterson, and T. Karl (2001) “A closer look at United States and global surface temperature change”, *J. Geophys. Res.*, 106(D20), 23,947–23,963.
- Hansen, J. E. (2005a) “Is There Still Time to Avoid ‘Dangerous Anthropogenic Interference’ with Global Climate? : A Tribute to Charles David Keeling”, NASA Goddard Institute for Space Studies, and Columbia University Earth Institute, New York, NY 10025, December 6, 2005.
(http://www.giss.nasa.gov/~jhansen/keeling/keeling_talk_and_slides.pdf)
- Hansen, J., et al. (2005b) “Efficacy of climate forcings”, *J. Geophys. Res.*, 110, D18104, doi:10.1029/2005JD005776.
- 早坂洋史, 福田正己, 串田圭司 (2007) 「最近の北方林での大規模森林火災と気候変動ーアラスカとサハでの森林火災と気象データによる考察ー」 *日本火災学会論文集*, 57 (3) , 45-51.
- Hunter, J. (2002) “A Note on Relative Sea Level Change at Funafuti”, Tuvalu; available at:
<http://staff.acecrc.org.au/>
- Hogan, Jenny (2005) “Climate argument solved?”, *Nature*, published online :11 August 2005, doi :10.1038/news050808-13.

参考文献

- 池田清彦 (2006) 『環境問題のウソ』 ちくまプリマー新書, 167pp.
- 池田清彦, 伊藤公紀, 岩瀬正則, 武田邦彦, 葉師院仁志, 山形浩生, 渡辺正 (2007) 『暴走する「地球温暖化」論』 文藝春秋社, 278pp.
- 池田清彦・養老孟司 (2008) 『ほんとうの環境問題』 新潮社, 189pp.
- Illis, Bill (2008) “Adjusting Temperatures for the ENSO and the AMO”, 25 Nov 2008, Watts Up With That. (<http://wattsupwiththat.com/>)
- 伊藤公紀 (2003) 『地球温暖化 埋まってきたジグソーパズル』, 日本評論社, 209pp.
- 伊藤公紀 (2005) 「気候変動枠組条約と京都議定書を見直す」『日本人のちから』16 (2005年1月), 東京財団. (http://www.tkfd.or.jp/publication/research/chikara16_3.shtml)
- 伊藤公紀 (2006) 「地球温暖化問題現実派」『経済セミナー』2006年12月号, p.38-43, 日本評論社.
- 伊藤公紀 (2007) 「「不都合な真実」の不都合な真実」『諸君!』2007年4月号, p.198-207, 文藝春秋社.
- 伊藤公紀・渡辺正 (2008) 『地球温暖化論のウソとワナ』 KKベストセラーズ.
- 伊藤公紀 (2009) エネルギー・資源学会『エネルギー・資源』30(1) 通巻173号および30(2)通巻174号での誌上討論. (<http://www.jsesr.gr.jp/>) .
- IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the (<http://www.ipcc.ch/>)
- Jones, C. D., and P. M. Cox (2001) “Modeling the Volcanic Signal in the Atmospheric CO₂ Record”, *Global Biogeochem. Cycles*, 15, 453-465.
- Jones, P.D. et al (2001) “Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series”, *J. Geophys. Res.* 106, 3371–3380.
- Jones, P.D. and Moberg, A. (2003) “Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and update to 2001”, *J. Clim.*, 16, 206–223.
- 環境省 (2008) 「諸外国における取組の現状関係資料 (抄)」 中央環境審議会総合政策・地球環境合同部会第4回グリーン税制とその経済分析等に関する専門委員会資料
<http://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04.html>
- Karl, T.R., S. Hassol, C.D. Miller and W.L. Murray (eds) “Temperature Trends in the Lower Troposphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences (Synthesis and Assessment Product 1.1), U.S. Climate Change Science Program.
<http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap1-1/finalreport/default.htm>.
- 河宮未知生 (2005) 「質問応答 質問: 気温の変化が二酸化炭素の変化に先行するのはなぜ?」『天気』, 52 (6), 日本気象学会. (http://www.s-ws.net/tenki/cont/52_06/co.html)

参考文献

- 河宮未知生, 江守正多 (2006) 「地球温暖化に関する討論会—温暖化の原因と対策についての賛否討論—」に参加して, 地球環境研究センターニュース, 16, 2006年3月号, 国立環境研究所.
(<http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/c-news/vol16-12/vol16-12.pdf>)
- Kawamura, K., F. Parrenin, L. Lisiecki, R. Uemura, F. Vimeux, J. P. Severinghaus, M. A. Hutterli, T. Nakazawa, S. Aoki, J. Jouzel, M. E. Raymo, K. Matsumoto, H. Nakata, H. Motoyama, S. Fujita, K. Goto-Azuma, Y. Fujii, and O. Watanabe (2007) “Northern Hemisphere forcing of climatic cycles in Antarctica over the past 360,000 years”, *Nature*, 448, 912-916.
- Keeling, C.D. et al. (1989) “Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas”, ed. Peterson, D.H, pp165-236, (*Geophys. Monogr.* 55, Am. Geophys. Union, Washington DC, 1989)
- Keeling C.D. (1993) “A Brief History of Atmospheric Carbon Dioxide Measurement and Their Impact on Thoughts about Environmental Change”, lecture by the Winners of the Blue Planet Prize, The Asahi Glass Foundation, p.66-83. (これは日本の旭硝子財団が主宰するブループラネット賞受賞者の講演を集めた講演録であり、講演録自体は数年分をまとめて1997年に出版されている)
- Keeling, R.F., S.C. Piper and M. Heimann (1996) “Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric CO₂ concentration”, *Nature*, 381, 218-221.
- Keeling, C. D. and T. P. Whorf (2005) “Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In Trends: A Compendium of Data on Global Change”, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- Keigwin, Lloyd D. (1996) *Science*, New Series, 274, No. 5292, pp. 1504-1508.
- Kitagawa H., and E. Matsumoto (1995) “Climatic implications of $\delta^{13}\text{C}$ variations in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) during the last two millenia”, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 2155-2158.
- Knutson, T.R. et al. (2006) “Assessment of twentieth-century regional surface temperature trends using the GFDL CM2 coupled models”, *J. Climate*, 19, 1624 - 1651.
- Knutti, R., S. Krähenmann, D. J. Frame, and M. R. Allen (2008) “Comment on Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system by S. E. Schwartz”, *J. Geophys. Res.*, 113, D15103.
- 国立環境研究所地球環境センター (2009) 『ココが知りたい地球温暖化』 気象ブックス026, 成山堂.
- 近藤邦明 (2006) 『温暖化は憂うべきことだろうか—CO₂地球温暖化脅威説の虚構—』 不知火書房, 202pp.
- Lambert, Tim (2004) “The Oregon Petition”, 17 May, 2004. (<http://timlambert.org/2004/05/oregonpetition/>)
- Lean J., J. Beer and R. Bradley (1995) “Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change”, *Geophys. Res. Letts.* 22, 3195–3198.
- Lean, Judith (2000) “Evolution of the Sun’s spectral irradiance since the Maunder Minimum”, *Geophys. Res. Lett.*, 27 (16) , 2425-2428.
- Lean, Judith (2006) “Solar forcing and climate change: Current status”, CLIVAR Exchanges (<http://www.clivar.org/>) Vol. 11 No. 1, also PAGES News (<http://www.pages.unibe.ch/>) Vol. 13 No. 3, 13 - 15.

参考文献

- Levitus, S., J.I. Antonov, T.P. Boyer and C. Stephens (2000) “Warming of the world ocean”, *Science*, 287, 2225–2229.
- Levitus, S., Antonov, J.I. and Boyer, T. (2005) “Warming of the world ocean, 1955 -2003”, *Geophysical Research Letters*, 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.
- Lomborg, B. (2007) “Cool It: The Skeptical Environmentalist's Guide to Global Warming”, New York: Alfred A. Knopf ; 山形 浩生 訳 (2008) 『地球と一緒に頭も冷やせ -- 温暖化問題を問い直す』ソフトバンク・クリエイティブ.
- Lomborg, B. (2001) “The sceptical environmentalist : Measuring the real state of the world”, Cambridge University Press, 540pp. ; 山形浩生 (訳) (2003) 『環境危機をあおってはいけないー地球環境のホントの実態ー』, 文藝春秋社, 671pp.
- Lomborg, B. (2005) “Global Crises, Global Solution”, Cambridge University Press.
- Lucht, W., I. C. Prentice, R. B. Myneni, S. Sitch, P. Friedlingstein, W. Cramer, P. Bousquet, W. Buermann, and B. Smith (2002) “Climatic Control of the High-Latitude Vegetation Greening Trend and Pinatubo Effect”, *Science*, 296, pp.1687-1689.
- 真鍋淑郎 (1985) 「二酸化炭素と気候変化」『科学』, 55巻, 84-92.
(再録 (1990) 内嶋善兵衛編, 『地球環境の危機』, 岩波書店, 65-73.)
- Mann, M.E., Bradley, R.S. and Hughes, M.K. (1998) “Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries”, *Nature*, 392, 779-787.
- Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes (1999) “Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations”, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 759-762.
- Mann, M.E., R. S. Bradley and M. K. Hughes (2004) “Corrigendum”, *Nature*, 430, 105.
- McNeil B.I. et al. (2003) “Anthropogenic CO₂ uptake by the ocean based on the global chlorofluorocarbon data set”, *Science*, 299, 235-239.
- Manabe, S., and R. F. Strickler (1964) “Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment”, *J. Atmos.Sci.*, 21, 361-385.
- 増田耕一 (2005) 「ホッケー・スティック論争」
(<http://web.sfc.keio.ac.jp/~masudako/memo/hockey.html>)
- 増田耕一, 明日香壽川, 吉村純, 河宮未知生 (2006) 「地球温暖化への懐疑論に対する考察」『日本の科学者』 2006年9月号, p.36-41, 日本科学者会議.
- 松岡譲 (1999) 「コメント : CO₂温暖化脅威説は世紀の暴論か」環境経済・政策学会編『地球温暖化への挑戦』, p.245-250, 東洋経済新報社.
- 丸山茂徳 (2008a) 「地球はこれから寒冷化する」『文藝春秋』 2008年5月号, pp.330-337.
- 丸山茂徳 (2008b) 『『地球温暖化』論に騙されるな!』講談社, 189 pp.
- 丸山茂徳 (2008c) 『科学者の9割は「地球温暖化」CO₂犯人説はウソだと知っている』宝島社.

参考文献

- 丸山茂徳 (2009) エネルギー・資源学会『エネルギー・資源』30(1) 通巻173号および30(2)通巻174号での誌上討論. (<http://www.jsr.gr.jp/>) .
- MacCracken, M. (2008) Analysis of the paper “Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide” by Arthur B. Robinson, Noah E. Robinson, and Willie Soon (Robinson et al. paper published in *Journal of American Physician and Surgeons* (2007) 12, 79-90).
http://www.climatewatch.org/index.php/csw/details/maccracken_critique_ofrobinson_etal/
- Mann, M.E., Z. Zhang, M.K. Hughes, R.S. Bradley, S.K. Miller, S. Rutherford and F. Ni (2008) “Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millenia”, *PNAS*, 105, 13252 - 13257.
- Mears C.A. and Wentz F.J. (2005) “The Effect of Diurnal Correction on Satellite-Derived Lower Tropospheric Temperature”, *Science*, 309, 1548-1551. doi:10.1126/science.1114772
- 向井人史 (2007) 「海と大気による二酸化炭素の交換」地球環境センター：Q&Aココが知りたい温暖化 (http://www-cger.nies.go.jp/qa/3/3-1/qa_3-1-j.html) 2009.4.14
- Michaelowa Axel & Michaelowa Katharina (2008) “Climate or development: is ODA diverted from its original purpose?”, *Climatic Change*, 84:5–21, DOI 10.1007/s10584-007-9270-3
- Muscheler, R., Joos, F., Muller, S. A. & Snowball, I. (2005) “How unusual is today's solar activity?”, *Nature*, 436, doi:10.1038/nature04045. (<http://www.nature.com/nature/journal/v436/n7050/full/nature04045.html>)
- Musser, George (2001) “Climate of Uncertainty: The unknowns in global warming research don't have to be showstoppers”, *Scientific American*, October 2001 issue
<http://www.sciam.com/page.cfm?section=sidebar&articleID=0004F43C-DC1A-1C6E-84A9809EC588EF21>
- Nagashima, T., H. Shiogama, T. Yokohata, T. Takemura, S. A. Crooks, and T. Nozawa (2006) “Effect of carbonaceous aerosols on surface temperature in the mid twentieth century”, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L04702, doi:10.1029/2005GL024887.
- National Research Council (2006) “Surface temperature reconstructions for the last 2,000 years”, National Academy Press, to be published (<http://www.nap.edu/catalog/11676.html>).
- New Scientist (2007) “Special Report Earth Climate change: A guide for the perplexed”
(<http://environment.newscientist.com/channel/earth/dn11462>)
- 根本順吉 (1994) 『超異常気象』, 中公新書.
- 野崎義行 (1994) 『地球温暖化と海』, 東京大学出版会, 196pp.
- 野沢徹 (2007) 「地球全体の平均気温の求め方」:地球環境センター：Q&Aココが知りたい温暖化 (http://www-cger.nies.go.jp/qa/2/2-1/qa_2-1-j.html) 2009.4.14
- Oreskes Naomi (2004) “The Scientific Consensus on Climate Change”, *Science*, 306, 1686.
- Orr, J.C., E. Maier-Reimer, U. Mikolajewicz, P. Monfray, J.L. Sarmiento, et al. (2001) “Estimates of anthropogenic carbon uptake from four three-dimensional global ocean models”, *Global Biogeochem. Cycles*, 15 (1) , 43-60, doi:10.1029/1999GB001256.

参考文献

- Parker, D.E. (2004) “Large scale warming is not urban”, *Nature*, 432, 290.
- Patel, Samir S (2006) “Climate science: A sinking feeling”, *Nature*, 440, 734-736 (06 Apr 2006) .
- Peterson, T. C., K. P. Gallo, J. Lawrimore, T. W. Owen, A. Huang, and D. A. McKittrick (1999) “Global rural temperature trends”, *Geophys. Res. Lett.*, 26(3), 329–332.
- Peterson, T.C. (2003) “Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found”, *J. Climate*, 16, 2941 - 2959.
- Peterson, T.C., and T.W. Owen (2005) “Urban heat island assessment: Metadata are important”, *J. Climate*, 18, 2637 - 2646.
- Petty W. Grant (2004) “A First Course in Atmospheric Radiation”, Madison WI USA: Sundog Publishing, 445 pp. ISBN 0-9729033-0-5.
- Philipona, Rolf, Dürr Bruno, Ohmura, Atsumu and Ruckstuhl, Christian (2005) “Anthropogenic greenhouse forcing and strong water vapor feedback increase temperature in Europe”, *Geophysical Research Letters*, 32, L19809, doi:10.1029/2005GL023624.
- Pielke, Roger A., Jr (2005) “Consensus About Climate Change ?” , *Science*, 308, 953.
- Pierce, J.R. and Adams, P.J. (2009) “Can cosmic rays affect cloud condensation nuclei by altering new particle formation rates?” *Geophysical Research Letters*, 36, L09820, doi:10.1029/2009GL037946.
- Plass, G.N. (1956) “Carbon dioxide and the climate” , *American Scientist*, 44, 302-316.
- Pooley, E. (2009) “How Much Would You Pay to Save the Planet? :The American Press and the Economics of Climate Change”, Joan Shorenstein Center on the Press, Politics and Public Policy Discussion Paper Series #D-49, January 2009
http://www.hks.harvard.edu/presspol/publications/papers/discussion_papers/d49_pooley.pdf
- Randerson, J. T. et al. (2006) “The Impact of Boreal Forest Fire on Climate Warming” *Science*, 314, 1130.
- Rayner, N.A., D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, L.V. Alexander, D.P. Rowell, E.C. Kent and A. Kaplan (2003) “Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine temperature since the late nineteenth century”, *J. Geophys. Res.* 108 (D14) , 4407.
- Roberts J. Timmons, Kara Starr, Thomas Jones, and Dinah Abdel-Fattah (2008) “The Reality of Official Climate Aid”, Oxford Energy and Environment Comment. November 2008.
http://www.oxfordenergy.org/pdfs/comment_1108-1.pdf
- Robinson, Arthur B., Noah E. Robinson, and Willie Soon (2007) “Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide”, *Journal of American Physicians and Surgeons*, 12, 79-90.
- Royal Society (2004) “Guide to facts and fictions about climate change”
(<http://www.royalsoc.ac.uk/page.asp?id=2986>)
- Sabine C. L., R. A. Feely, N. Gruber, R. M. Key, K. Lee, J. L. Bullister, R. Wanninkhof, C. S. Wong, D. W. R. Wallace, B. Tilbrook, F. J. Millero, T.-H. Peng, A. Kozyr, T. Ono, and A. F. Rios (2004) “The oceanic sink for anthropogenic CO₂”, *Science*, 305, 367-371.

参考文献

- Santer, B. D., T. M. L. Wigley, C. Mears, F. J. Wentz, S. A. Klein et al. (2005) “Amplification of Surface Temperature Trends and Variability in the Tropical Atmosphere”, *Science*, 309, 1551-1556, doi:10.1126/science.1114867.
- Santer B. D., C. Mears, F. J. Wentz, K. E. Taylor, P. J. Gleckler, T. M. L. Wigley, T. P. Barnett, J. S. Boyle, W. Bruggemann, N. P. Gillett, S. A. Klein, G. A. Meehl, T. Nozawa, D. W. Pierce, P. A. Stott, W. M. Washington and M. F. Wehner (2007) “Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content”, *PNAS*, 104, (2007), 15248-15253.
- Scafetta, N. (2008) “Comment on Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system by S. E. Schwartz”, *J. Geophys. Res.*, 113, D15104.
- Schmidt, G. (2005) “Water vapour: feedback or forcing?”
<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2005/04/water-vapour-feedback-or-forcing/>
- Schmidt, Gavin and Stefan Rahmstorf (2008) “Uncertainty, noise and the art of model-data comparison”.
<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2008/01/uncertainty-noise-and-the-art-of-model-data-comparison>
- Schwartz, S.E. (2007) “Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system”, *J. Geophys. Res.*, 112, D24S05, doi:10.1029/2007JD008746.
- Schwartz, S. E. (2008) “Reply to comments by G. Foster et al., R. Knutti et al., and N. Scafetta on Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system”, *J. Geophys. Res.*, 113, D15105
- Shelly, Todd (2005) “Bashing the Scientific Consensus on Global Warming”, *Hawaii Reporter*, 7/14/2005 12:43:12 PM.
(<http://www.hawaiireporter.com/story.aspx?fded5949-97a0-41e8-ad66-bba0fa15e61f>)
- サスキンド・ロン (2004) 『忠誠の代償：ホワイトハウスの嘘と裏切り』武井楊一訳, 日本経済新聞社.
- Sherwood, S., J. Lanzante and C. Meyer (2005) “Radiosonde Daytime Biases and Late-20th Century Warming”, *Science* 309, 1556-1559, doi:10.1126/science.1115640.
- 柴田清孝 (1999) 『光の気象学』朝倉書店, 182 pp.
- Shiogama, H., T. Nagashima, T. Yokohata, S. A. Crooks, and T. Nozawa (2006) “Influence of volcanic activity and changes in solar irradiance on surface air temperatures in the early twentieth century”, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L09702, doi:10.1029/2005GL025622.
- Sigman, D. M. and E. A. Boyle (2000) “Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide”, *Nature*, 407, 859-869.
- Smith, H. J., H. Fischer, M. Wahlen, D. Mastroianni, and B. Deck (1999) “Dual modes of the carbon cycle since the Last Glacial Maximum”, *Nature*, 400, 248-250.
- Soden, Brian, Richard T. Wetherald, Georgiy L. Stenchikov, Alan Robock (2002) “Global Cooling After the Eruption of Mount Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor”, *Science*, 296, 727-730.

参考文献

- Solanki, S.K. and N.A. Krivova (2003) “Can solar variability explain global warming since 1970?”, *J. Geophys. Res.* 108, 1200. doi:10.1029/2002JA009753
- Solanki, S.K., Usoskin, I.G., Kromer, B., Schussler, M. and Beer, J. (2004) “Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years”, *Nature*, 431, 1084-1087.
(<http://www.nature.com/nature/journal/v431/n7012/abs/nature02995.html>)
- Steffen, W., A. Sanderson, P. D. Tyson, J. Jäger, P. A. Matson, B. Moore III, F. Oldfield. K. Richardson, H. J. Schellnhuber, B. L. Turner, R. J. Wasson (eds) (2004) “Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure”, IGBP Global Change Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- 杉山大志・石井敦・明日香壽川 (2001) 「円借款による発電部門のCO₂排出削減ポテンシャル試算」『エネルギー・資源』, Vol.22, No.4, p.60-65, エネルギー・資源学会.
- Sun, Bomin and Bradley, Raymond S. (2004) “Reply to comment by N. D. Marsh and H. Svensmark on Solar influences on cosmic rays and cloud formation: A reassessment” *Journal of Geophysical Research*, 109, D14206, doi:10.1029/2003JD004479.
- Takahashi, T., S. C. Sutherland, C. Sweeney, A. Poisson, N. Metzl et al. (2002) “Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean p CO₂, and seasonal biological and temperature effects”, *Deep Sea Research*, 49, 1601-1622.
- 武田邦彦 (2007a) 『環境問題はなぜウソがまかり通るのか』 洋泉社, 221pp.
- 武田邦彦 (2007b) 『環境問題はなぜウソがまかり通るのか2』 洋泉社, 317pp.
- 武田邦彦 (2007c) 「大失敗の環境政策」『暴走する「地球温暖化」論』（武田邦彦, 池田清彦, 渡辺正, 薬師院仁志, 山形浩生, 伊藤公紀, 岩瀬正則 著）文藝春秋社, 99 - 116.
- 武田邦彦 (2008a) 『偽善エコロジー』 幻冬舎新書, 230pp.
- 武田邦彦 (2008b) 『環境問題はなぜウソがまかり通るのか3』 洋泉社, 282pp.
- 武田邦彦 (2008c) 『日本人はなぜ環境問題にだまされるのか』 PHP 新書, 211pp.
- 武田邦彦・丸山茂徳 (2008) 『地球温暖化論で日本人が殺される！』 講談社, 217pp.
- Tett, S. F. B., et al. (2002) “Estimation of natural and anthropogenic contributions to twentieth century temperature change”, *J. Geophys. Res.*, 107(D16), 4306, doi:10.1029/2000JD000028.
- Thacker, Paul D (2006) “Climate skeptics in Europe? Mostly missing in action”, Society of Environmental Journalist Journal Excerpts, Summer 2006 (<http://www.sej.org/pub/index4.htm>)
- 東北大学大気海洋変動観測研究センター (2006)
(<http://caos-a.geophys.tohoku.ac.jp/bujunkan/archives/000037.html>)
- Trudinger, C. M., I. G. Enting, R. J. Francey, D. M. Etheridge, and P. J. Rayner (1999) “Long-term variability in the global carbon cycle inferred from a high-precision CO₂ and δ¹³C ice-core record”, *Tellus*, 51B, 233-248.
- 槌田敦 (1999) 「CO₂温暖化脅威説は世紀の暴論」環境経済・政策学会編『地球温暖化への挑戦』, p.230-244, 東洋経済新報社.

参考文献

- 樋田敦 (2004) 「CO₂温暖化が否定されたとき、経済学者を襲う排出権取引の責任問題-」 2004年度環境経済・政策学会発表要旨.
- 樋田敦 (2005a) 「CO₂温暖化説は間違っている-よって、温暖化対策事業は中止させるべきである-」 2005年度環境経済・政策学会発表要旨.
- 樋田敦 (2005b) 「CO₂による地球温暖化は本当なのだろうか-大気汚染による温暖化の可能性について-」 日本物理学会誌投稿原稿.
- 樋田敦 (2006) 『CO₂温暖化説は間違っている』ほたる出版.
- 樋田敦 (2007) 「CO₂を削減すれば温暖化は防げるのか」 日本物理学会誌, 62(2), 115-117.
- 樋田敦 (2008) 「温暖化の脅威を語る気象学者のこじつけ論理：一物理学者からの反論-CO₂原因説批判」 『季刊at (あっと)』 11号、2008年3月.
http://env01.cool.ne.jp/global_warming/report/tutida03.pdf
- Union of Concerned Scientists (2007) “Smokes, Mirrors and Hot airs: How ExxonMobil Uses Big Tobacco’s Tactics to Manufacture Uncertainty on Climate Science”
(http://www.ucsusa.org/news/press_release/ExxonMobil-GlobalWarming-tobacco.html)
- Verheggen, Bart (2009) “Aerosol effects and climate, Part II: the role of nucleation and cosmic rays”.
<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2009/04/aerosol-effects-and-climate-part-ii-the-role-of-nucleation-and-cosmic-rays/>
- 薬師院仁志 (2002) 『地球温暖化論への挑戦』八千代出版, 334pp.
- 安井至 (2009) 「誤解を増長させる丸山式論理」 市民のための環境学ガイド：2008年8月24日)
(<http://www.yasuienv.net/MaruyamaCO2.htm>) 2009.4.14
- 矢沢潔 (2007) 『地球温暖化は本当か?』技術評論社, 231pp.
- 吉村じゅん (2008) 「宝島社の新刊本」 気候変動・千夜一話：2008年9月2日.
(<http://blog.livedoor.jp/climatescientists/archives/401015.html>) 2009.4.14
- Wang, Y.-M., J.L. Lean and N.R. Sheeley Jr. (2005) “Modeling the Sun’s magnetic field and irradiance since 1713”, *Astrophys. J.*, 625, 522 - 538.
- 渡辺正 (2005) 『これからの環境論：つくられた危機を越えて』日本評論社 230pp.
- 渡辺正 (2006) 「地球温暖化対策：政府の最善「何もしない」」読売新聞「論点」2006年6月29日.
- Weart, S.R. (2003) “The Discovery of Global Warming”, Harvard University Press. (増田耕一・熊井ひろ美 訳『温暖化の＜発見＞とは何か』みすず書房、2005年)
- Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C.N., Dutton, E.G., Forgan, B., Kallis, A., Russak, V. and Tsvetkov, A. (2005) “From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at the Earth’s surface”, *Science*, 308, 847 - 850.
- The World Bank (2007) “Growth and CO₂ Emissions: How do Different Countries Fare?”, Environment Department.

参考文献

<http://siteresources.worldbank.org/INTCC/214574-1192124923600/21511758/CO2DecompositionfinalOct2007.pdf>

山口光恒 (2006) 「合意のない気候変動政策の目標と長期戦略」『国際問題』No.552 (2006年6月), p.19-31, 国際問題研究所.

<http://m-yamaguchi.jp/papers/kokusaimondai.pdf>

養老孟司 (2007) 「環境について、本当に考えるべきこと」『現代思想』, Vol.35, No.12, 青土社, p.46-58.