地球温暖化問題懐疑論へのコメント

2008 年 7 月 7 日　Ver. 2.4

（http://www.cir.tohoku.ac.jp/~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

＜要旨＞

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、いわゆる地球温暖化論に対し､懐疑的あるいは否定的な見解をとる論説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、本稿ではこれらの論説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主張に対して具体的な反論を行う。

はじめに

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）に対して、懐疑的あるいは否定的な言説となっている槌田（1999、2004、2005a、2005b、2006、2007）、薬師院（2002）、渡辺（2005、2006）、伊藤（2003、2005、2006）、近藤（2006）、池田（2006）、矢沢（2007）、Lenoir（2001）、Lomborg（2001、2005）、武田（2007a、2007b）、Crichton（2007）、丸山（2008a、2008b）などを中心に、彼らの主な議論に対する反論コメントを以下のように分けて整理した。

1. 温暖化問題における「合意」
2. 温暖化に関するマスコミ報道
3. 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
   - 3.2. 炭素循環
   - 3.3. 地球大気の構造・光学特性
4. 温暖化問題の優先順位

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壽川・吉村純と槌田敦・中本正一朗両氏による「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、本ペーパーとともに、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（明日香壽川・吉村純のパワーポイント発表資料などは、http://www.cir.tohoku.ac.jp/omura-p/omuraCDM/ 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）が総説を執筆している。さらに、米国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”（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、懐疑論者によるコメント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。

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

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.

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、かつ懐疑派の主張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://illconsidered.blogspot.com/

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.2.4 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 1、2、4 は明日香が担当して執筆し、3 は全員で分担して執筆した。

1. 温暖化問題における「合意」

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、仮にその人物の肩書きが何であろうと、一人の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ペーパーを分析したところ、928 ペーパーが該当し、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、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、人為的排出二酸化炭素温暖化説を支持する公式文書を発表している。また、世界の学術団体が合同で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、いわゆる懐疑論者の方々は圧倒的な少数派であり、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」と認めるのか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 世紀後半から起きている温暖化は二酸化炭素が主な原因」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、仮説であるといえる。ただし、この議論は、ひとつの決定的な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、硫黄酸化物、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派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、懐疑派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派によって引用される（オレゴン嘆願書に関しては、嘆願書、嘆願書と共に配布されたレビュー論文もどき、署名者の名前などのすべてが http://www.oism.org/pproject/からダウンロード可能）。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.Eaglemans、二人の David Tompkins）、姓がない名前（Biolchini）、会社の名前（Graybeal & Sayre, Inc）、明らかな偽名（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 であり、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、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。そして、彼は「間接喫煙の健康被害はない」と強く主張し続けていたため、反タバコ団体などからタバコ会社との金銭的な癒着を指摘され続けてきた人物である。

実は、タバコと温暖化懐疑派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派と

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派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。

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、以下のようなもっときわどい点がある[1]。

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、現在の年齢は 95 才）。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

[1] 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。

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”）。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 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[2]。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。

このような人々が「懐疑派」なのである。

（担当執筆者：明日香壽川）

[2] Fred Singer に関しては、http://www.ecosyn.us/adti/Singer-Nightline.html や Wikipedia での彼の説明：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）

2. 温暖化問題に関するマスコミ報道

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）」（槌田 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＞

以下は、反論というよりも、私たちからマスコミ関係者の方々へのお願いである。

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派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。懐疑派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、懐疑派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 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派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、大部分の懐疑派は、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。

懐疑派の中には、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派は非常に少ない（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派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派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充分な努力を払っていたとは必ずしも言えない。しかし、何と言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。

（担当執筆者：明日香壽川）

3. 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

Jones *et al*.（2001）による 19 世紀後半からの気温の推移や、Mann *et al*.（1998, 1999）による古気候指標を用いた過去 1000 年スケールの気温の推定を示すグラフは、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を目にすることがある。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。

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）。

＜反論＞

まず、海上のデータがないというのは渡辺（2005）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 3 次報告書に掲載された過去 25 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。

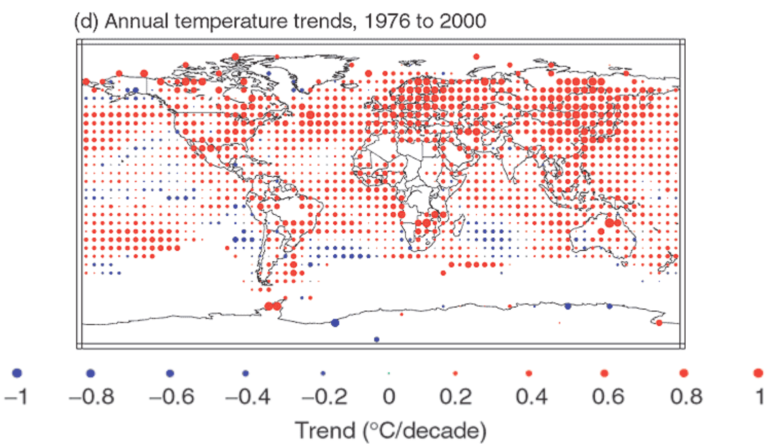

図 1-1　全球的な温暖化傾向を示す観測結果

出所：http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/fig2-9.htm

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）。

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。

また、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）、図 1-3 は 2005 年の気温（1951〜1980 年の平均値に対する偏差）を示しているが、これらの間には何の相関も見いだせない。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、「都市化による全球気温のバイアス」が幻想であることがよくわかる。

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。

図 1-2　夜間の衛星画像（2002 年 8 月 11 日）

出所：http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0208/earthlights02_dmsp_big.jpg

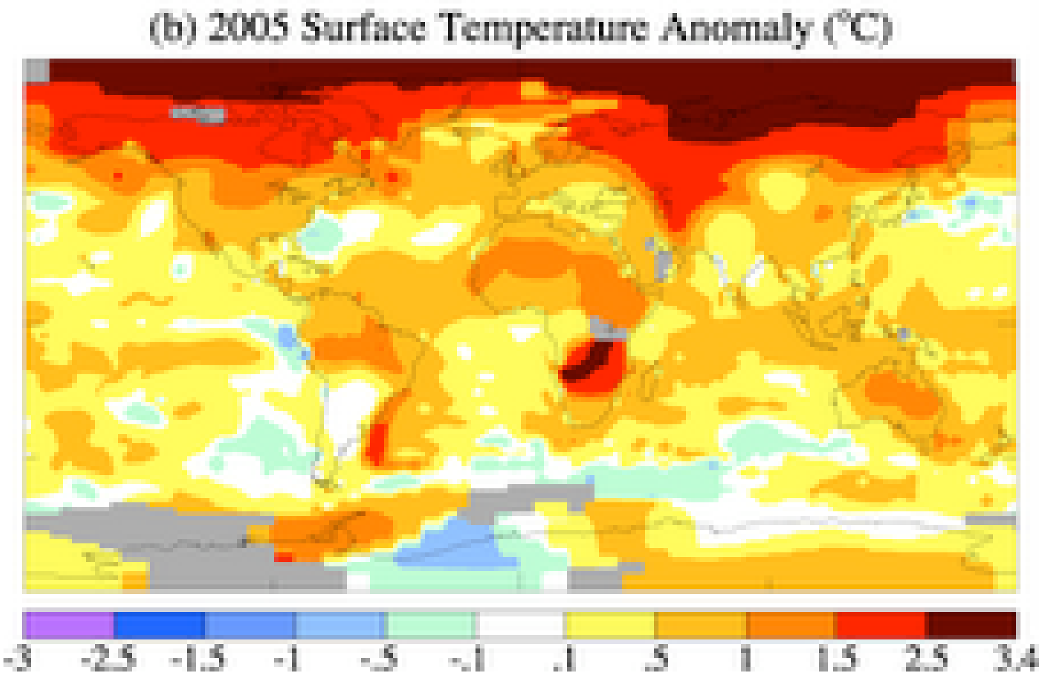

図 1-3　地球表面の温度変化

出所：http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2005/

注：図 1-2 で白い部分が都市化の進んでいる地域。一方、図 1-3 で赤い部分が温暖化の進んでいる地域。この二つの地域は見事に重なっていない。

証拠 2. 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、最新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
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
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

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 2m 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）。

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。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）を行ないはするが、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モデルはそのような説得力をもたなかっただろう。

議論 5. 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）。

＜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（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「悔しまぎれの捨てぜりふ」という形容は事実に反している。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。そもそも、過去 1000 年間の気温の復元推定は他の研究グループによっても行なわれており、Mann らの仕事ばかりに注目するのは建設的態度ではない。それらの研究も含めて総合してみると（National Research Council 2006）、1000 年間の前半の気候復元のばらつきはまだ大きいが、最近 400 年の範囲で 20 世紀が際立って温暖であることは確かである。

議論 6. 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、前世界大戦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）。

＜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。前世界大戦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）と人為起源エーロゾルの冷却効果（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だが、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ー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 2）。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。

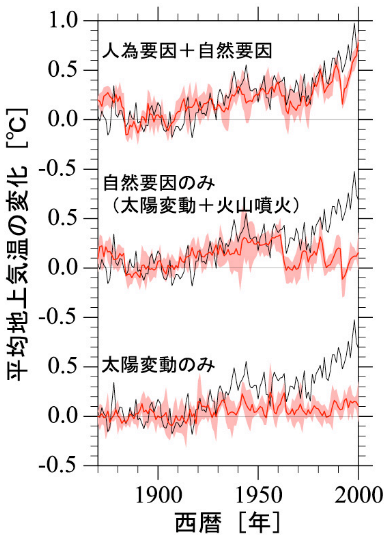

図 2. 気候モデルによるシミュレーション結果

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、経済モデルと同様に、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、懐疑派の格好の攻撃の的となっていた。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も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、それは真っ当な「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 7. 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）。

＜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、人為的排出二酸化炭素温暖化説も、過去における太陽活動の影響を否定してはいない。図 3.1 は過去の太陽放射量の経年変化を示すが、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）。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 2）。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。

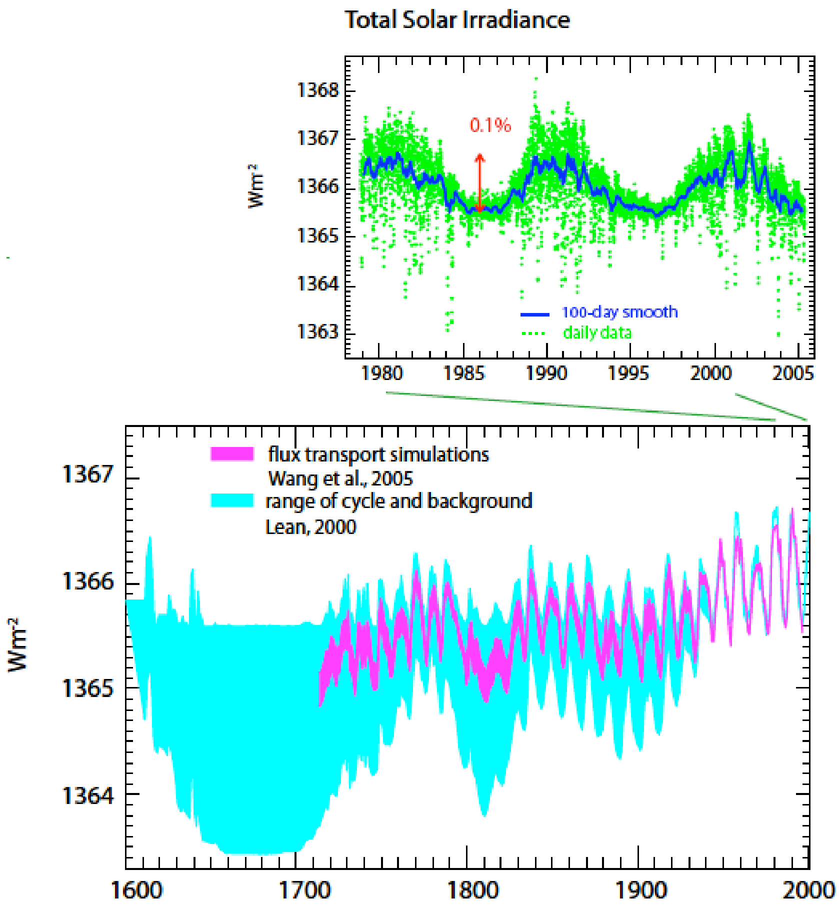

図 3.1　太陽活動の大きさの推移

出所： CLIVAR/PAGES Newsletter Vol.13, No.3, p.14

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。

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； 丸山 2008a；丸山 2008b）。

＜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、などが指摘されている（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 3.2）。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[3]。

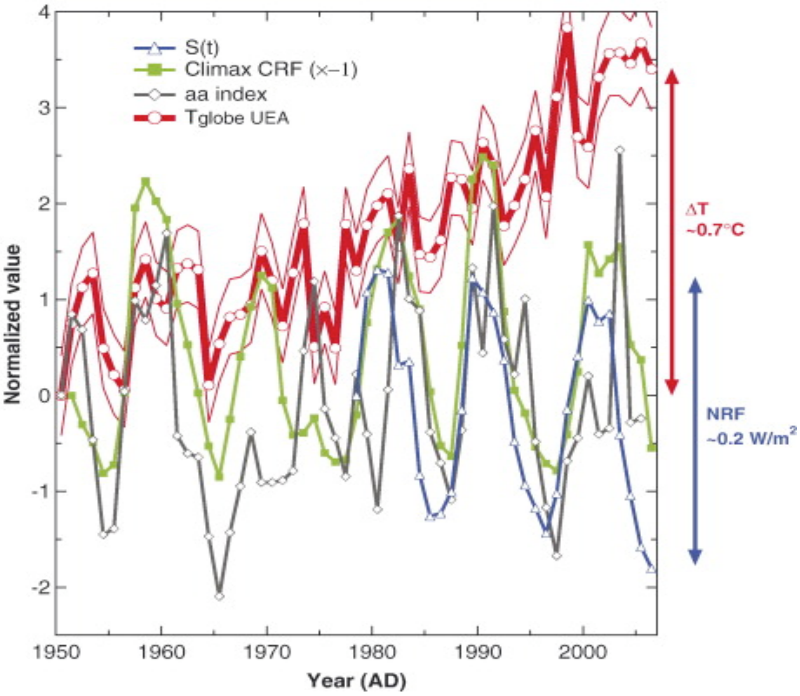

図 3.2　太陽活動に関係する 3 種類の指標と全球平均地上気温との比較

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、太陽活動に関係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。

[3] 太陽活動の影響に関しては、詳細な最新の総説として以下を参照せよ。The Influence of Solar Changes on the Earth's Climate. L.J. Gray, J.D. Haigh, R.G. Harrison. Hadley Centre Technical Note 62, January 2005.（www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/pubs/HCTN/index.html）。なお、Solanki *et al.*（2004）の論文に対し、最近の太陽活動はとくに異常なレベルではないという反論が出されている（Muscheler *et al.* 2005）。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同じ見解が述べられている。

議論 8.　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, p.183-186）。

＜反論＞

丸山（2008b）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（$\delta^{13}C$）のデータを全球平均気温の指標として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論拠にするとともに、過去 100 年程度の地球温暖化の傾向が「異常」ではないと述べている。丸山が用いた $\delta^{13}C$ データは Kitagawa and Matsumoto（1995）によるものであるが、この解釈自体はまったく独自のものである。

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。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 $\delta^{13}C$ の変動を記録しているか、2）大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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、上記のような議論は成立しない。

問題 1　屋久杉は、大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$ の変動を記録しているか？

実測される以前の大気中 CO_2 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 3.3 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 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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 $\delta^{13}C$ の変動幅は 1.5 パーミル程度と、大気 CO_2 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 CO_2 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は明らかである。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と言える。

問題 2　大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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、それにともなって $\delta^{13}C$ は上昇する（気温が低下すれば $\delta^{13}C$ も低下する）と主張している。その根拠は、植物に含まれる炭素は $\delta^{13}C$ 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 CO_2 については $\delta^{13}C$ が上昇すると考えられることである。しかし、大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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 CO_2 の $\delta^{13}C$ と全球的な気温との相関は異なる。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 CO_2 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 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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 CO_2 濃度は上昇したが、同時に大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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 $\delta^{13}C$ 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、（$\delta^{13}C$ が低い）化石燃料等の人為起源の CO_2 が大気に加わったことにより、大気中の $\delta^{13}C$ が大きく低下してきている（図 3.3）。このような変化は屋久杉の $\delta^{13}C$ 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。

以上のことより、丸山（2008b）の主張（「1 個体の屋久杉の年輪から得られた $\delta^{13}C$ データは全球気温平均の指標である」）には何重もの誤りが含まれており、これに基づいた主張は当然成り立たない。

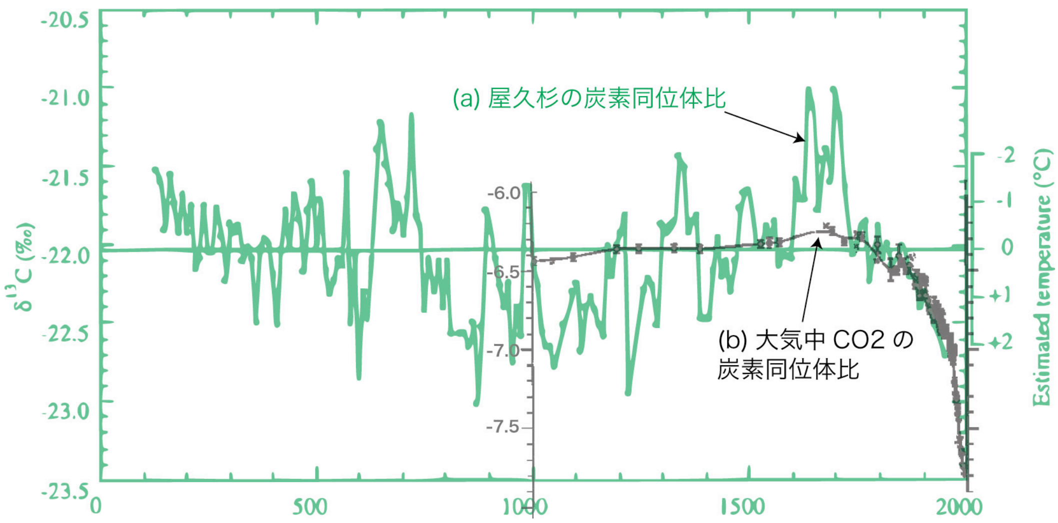

図 3.3　屋久杉（緑のグラフ）と大気中 CO_2（黒のグラフ）の安定炭素同位体比の比較。

注：横軸は西暦年。(a) 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 $\delta^{13}C$ の推移。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、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) 南極氷床コアの分析による過去 1000 年間の大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$（Francey *et al*. 1999）。産業革命以降は、人為起源の（$\delta^{13}C$ が低い）CO_2 放出により、大気中 CO_2 の $\delta^{13}C$ 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 $\delta^{13}C$ にもこれと同様の変化が見られる。

議論 9. 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、原因は硫酸エーロゾルと考えられている。この硫酸エーロゾルは、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）。

＜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おり、今まで議論されてきているエー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、エー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ことが明らかになっている。

議論 10. 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ーロゾルの気候影響は種類によって異なる。硫酸液滴などのエーロゾルは、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ーロゾルは、その存在するところの空気を暖め、場合によっては地上気温を高める可能性がある。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効果も持つ。しかし、地上気温を高めるこれらの効果は、硫酸液滴などのエー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、エー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。気候モデルを用いたシミュレーションによれば、20 世紀後半における地上気温の経年変化は、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ー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ーロゾルの効果はそれらに比べれば副次的と思われる。

議論 11. 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+0.9mm/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、その図を見ただけで 0.9mm/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が、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）する必要があるが、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り、+0.9mm/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が、1993 年〜2005 年の期間についていえば、ツバルでは海面上昇があったといえる。なお、現在、ツバルにおいては洪水による被害が甚大になりつつある。このような状況に関しては Patal（2006）を参照されたい。

3.2. 炭素循環に関する議論

槌田（2006、2007）の議論の中心をなす論点として、「二酸化炭素が増えているから地球が温暖化しているのではなく、地球が温暖化しているから二酸化炭素が増えているのである」という主張がある。また、近藤（2006）も基本的に同じ主張を行っている。本節では、この主張を支持する証拠として彼らが提出しているデータについて議論し、彼らの主張が誤解に基づいたものであることを示す。

議論 12. 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（槌田 2005b；槌田 2006；近藤 2006；槌田 2007）。

証拠 1. 例えば、 Keeling *et al.*（1989）のグラフ（図 4）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（槌田 2005；槌田 2006；槌田 2007）。

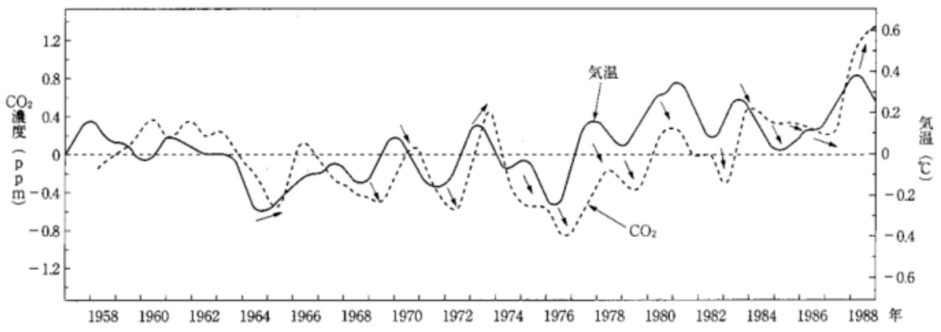

図4. 観測値から長期的な上昇傾向と季節変化を取り除いた大気中二酸化炭素濃度変動と気温変動の関係　　出所：根本（1994）, p.151

＜反論＞

図 4 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だが、この図をもって二酸化炭素の変動が常に気温に追随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だからである。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。

キーリングがどのような意図で図 4 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。槌田（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、槌田（2006）の主張とは相容れない。

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4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。

なお、図4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と、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槌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（河宮と江守 2006）。

また近藤（2006）は、彼の図2.14（本稿では図5）を用いてCO_2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、槌田（2006）の主張を支持した。

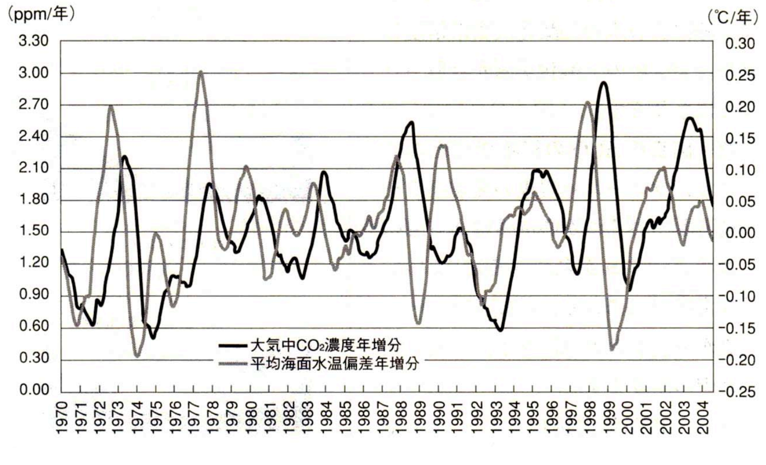

図5　CO_2濃度変化と海面水温変化

出所：近藤（2006）の図 2.14

この図 5 では CO_2 濃度変化の長期傾向は情報として含まれているが、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、CO_2 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 CO_2 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 5 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 CO_2 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、CO_2 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 CO_2 が増加しているというということを図 5 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 4 や図 5 に見られるような、CO_2 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 CO_2 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 CO_2 濃度増加率を計算すると、1.5ppm/yr ほどになる。これは図 5 における 1990 年代の平均的な CO_2 濃度上昇率とほぼ一致している。このことは、図 5 に見られる「水温の上昇・下降に関係ない CO_2 濃度上昇」が人為起源 CO_2 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6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CO_2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。

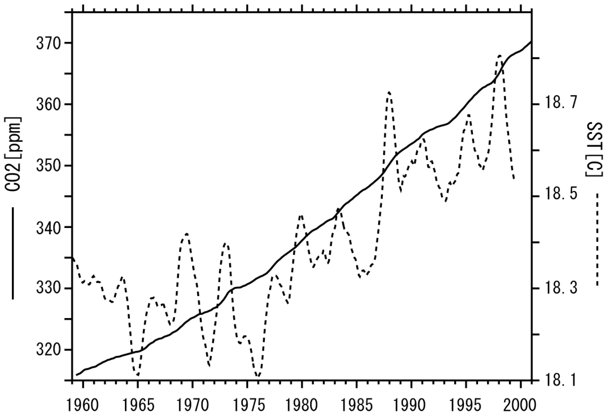

図 6　マウナロアにおいて観測された CO_2 濃度（実線、Keeling and Whorf 2005）と全球平均海面水温（破線、Rayner *et al.* 2003）の時間変化

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

この図 6 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 CO_2 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 CO_2 増加が、人為起源 CO_2 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 6 は人為起源 CO_2 による温暖化説とも矛盾するのではないか。この図では CO_2 濃度が上がっていながら、海面水温が下がっている時期がたくさんある。」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、CO_2 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のである。図 6 の海面水温の時間変化において、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 年代以降上昇傾向にあることがわかる。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 6 に対する反論も参照のこと）。

また、近年のCO_2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7を掲げる。

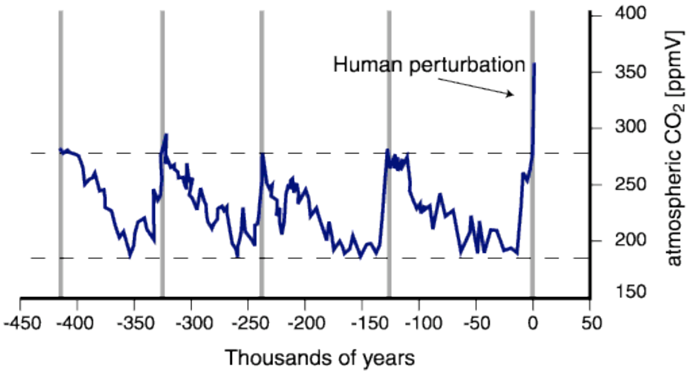

図 7 ボストークのアイスコアから得られた CO_2 濃度（Petit *et al*. 1999）と、最近の CO_2 濃度直接観測データ（Keeling and Whorf 2005）をつなげて示した時系列グラフ

出所：Steffen *et al*.（2003） による図を改変

これは氷床コアからとられた過去40万年のCO_2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CO_2濃度の変化とをつなげて示したものである。この図7から、近年は過去40万年にない勢いでCO_2濃度が上昇していることが分かる。このCO_2濃度上昇を環境変動の結果として説明しようとすると、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CO_2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4のようなCO_2濃度と気温のラグ付き相関が見られる原因についても概略を説明しておく。まず、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CO_2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、エルニーニョ発生年にはCO_2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（議論4参照）。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CO_2が放出され、それが大気中のCO_2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、「温度が原因で濃度が結果」という立論の証拠としてこのグラフ（図4）を取り上げているのは、いわゆる世界の「人為的排出二酸化炭素温暖化説」否定論者の中では日本の論者のみである。したがって、1）根本（1994）や、そのグラフの解釈を広めた否定論者の影響力が日本では非常に大きかった、2）日本の「人為的排出二酸化炭素温暖化説」否定論者の多くは、海外での最新の議論をフォローしていない、などがわかる。

証拠 2. 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、過去の気候変動で二酸化炭素やメタンを増加させていたトリガーは、気温であってもよく、これも含めて、現在の科学は以下の 3 つを同時に認めている。

1）気温が原因で二酸化炭素濃度が変わる
2）二酸化炭素濃度が原因で気温が変わる
3）近年の 100 年スケールの気温上昇は、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）も主張してはいけないという議論は成り立たないことである。人為的排出二酸化炭素温暖化説が主張しているのは、あくまでも 20 世紀後半の温度上昇に関しては二酸化炭素が主な原因であるということであり、それ以外の過去における温度上昇においては、気温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は最初から認めている。特に、氷期－間氷期サイクルにともなう二酸化炭素濃度の変動については、ミランコビッチ理論に従った地球軌道要素の変化が海洋環境の何らかの変化を引き起こし、海洋の二酸化炭素吸収増大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）。

多くのいわゆる「懐疑論者」の方々の間には、「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人為的排出二酸化炭素温暖化説は主張している」という誤った認識があるように思われる。また、まさにこのような批判こそが、人為的排出二酸化炭素温暖化説を「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、もともと季節変動がより小さい（□自然の排出・吸収の影響が現れにくい）SIO（Scripps Institution of Oceanography）による南半球の観測地点での年平均（http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-keel.htm）を見ると、この期間も上昇し続けている。

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 年間でずっと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 1.5～1.8ppm）。3ppm 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 11 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（槌田 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 12 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 8 と図 9 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 CO_2 があまり含まれていないためである。

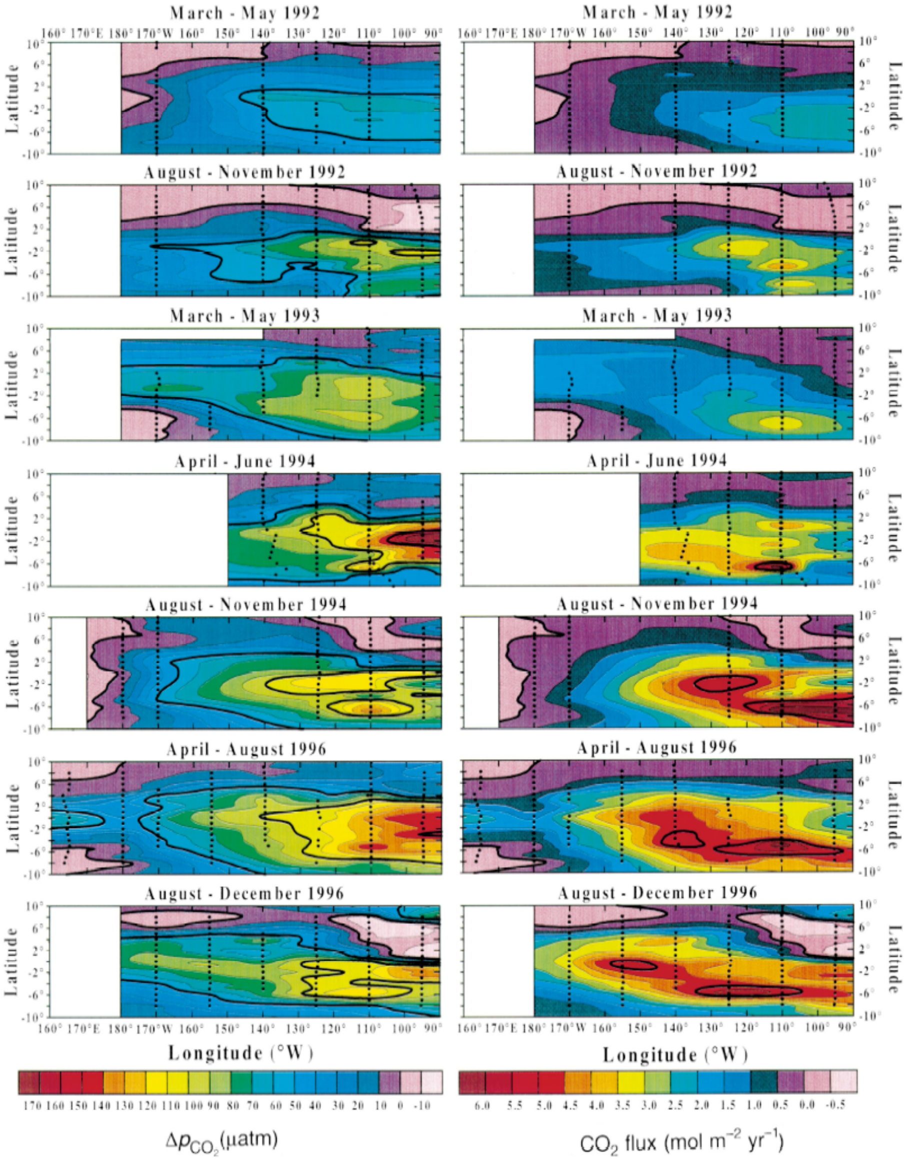

図８　エルニーニョと海面からの二酸化炭素放出との関係

出所：Feely *et al.*（1999）

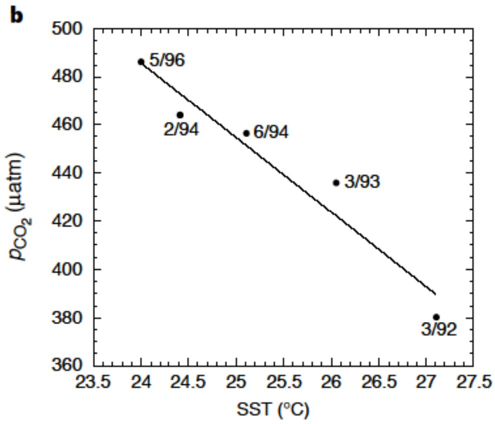

図 9　海面水温と二酸化炭素分圧との相関関係

出所：Feely *et al.*（1999）

＜図 8 と図 9 の解説＞

図 8 の右列が海洋からの CO_2 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、CO_2 放出が小さくなっていることがわかる。図 9 では、海面水温（SST）が上がると CO_2 分圧（pCO_2）が下がる（海は CO_2 を吸収しやすくなる＝海面からの CO_2 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。

なお図 8，9 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 CO_2 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 CO_2 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 年のデータは充分代表性があると思ってよい。実際、図 9 をみると、92 年以外のデータ、93-96 年についても、水温と CO_2 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。

議論 13. 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（槌田 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 14. 海面水温上昇で、海洋から CO_2 が大量に放出される。例えば 1 度の海水温上昇で CO_2 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 CO_2 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「ルベール効果」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 2ppm 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 年からから現在までの CO_2 濃度増加量 50ppm に比べわずかな量でしかない。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。

なお、ルベール効果については野崎（1994）が解説を行っているが、ここで概略を説明する。海洋中で無機炭素は、二酸化炭素（CO_2）、炭酸イオン（CO_3^{2-}）、重炭酸イオン（HCO_3^-）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。「CO_2 の溶解度が 4%減る」ということはあくまで CO_2 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。CO_2 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、このことをルベール効果と呼ぶ。そして、上の 1,020Gt という数字は、CO_2 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。

ルベール効果について、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 CO_2 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 CO_2 の典型的濃度は、全炭酸で 50 mmol/m^3 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/m^3 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 CO_2 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 CO_2 分圧は CO_2 形態の無機炭素濃度に（一定温度では）比例するので、ルベール効果により、全炭酸濃度よりも増加の割合が 1 桁高いのである。

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、わずかずつであるが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（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（槌田 2005b；槌田 2006）。

＜反論＞

前出の議論 11 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、直感的にもおかしく、定量的にもはっきりと否定されている。

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、例えば「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 10 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人為的排出によるか否かがわかる[4]（Damon *et al*. 1973；Baxter and Walton 1970）。

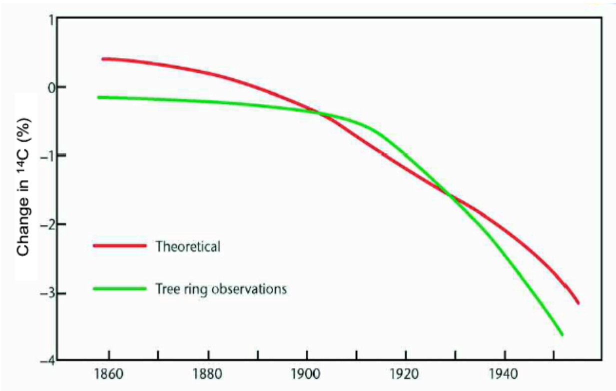

図 10　大気中のおける ^{14}C 濃度の変化

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 11）。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（IPCC, 2001）。例えば、http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/fig3-4.htm を参照せよ。

陸上生態系による吸収は、大気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、

---

4 より詳細は、The global carbon cycle. Chapter 2: Variations in atmospheric CO_2 content, by H..D.Freyer.（http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope13/chapter03.html#abs）を参照せよ。

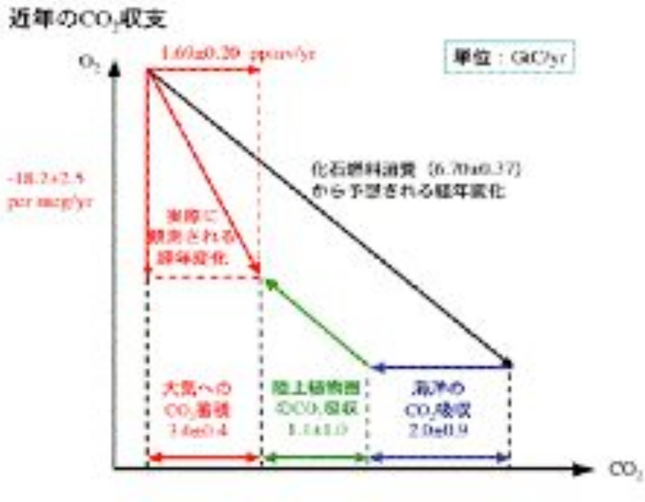

図 11　O_2 と CO_2 の観測結果から得られた近年の CO_2 収支に関する模式図

出所：東北大学大気海洋変動観測研究センター（2006）

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一様でないものの、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*. 2002）
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 ^{13}C 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. **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＞

まず、「氷」には、氷河、氷床、氷帽、氷流、棚氷、氷山、海氷などがあることを指摘しておく。確かに、武田（2007）が指摘するように、アルキメデスの原理によって海水面上昇に対する氷山（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）の溶解による影響は非常に小さい。

しかし、氷山の場合、氷山の元となる棚氷が海に浮かぶ際、または、氷河などが崩落して氷山のできる瞬間に海面上昇は生じる。また、氷山と海水の塩分濃度が異なるために、わずかではあるものの、氷山が溶けると多少の海面上昇は起きる。一方、陸域の上に存在する氷床や山岳氷河、氷帽の融解による海面上昇は無視できない大きさである。

すなわち、武田（2007）は、1）陸の氷が溶けて水になって海にいく、2）陸の氷が崩れて氷のまま海にいく、という二つのプロセスに対する認識が十分ではない。最新の IPCC 第 4 次報告書（IPCC 2007）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 ± 0.5mm/year、氷河と氷帽の融解が 0.77 ± 0.22mm/year、グリーンランドの氷床融解が 0.21 ± 0.07mm/year、南極の氷床融解が 0.21 ± 0.35mm/year となっている。すなわち、南極や北極などにおける「氷」の海面上昇への寄与度は 3 分の 1 程度と考えられる。

なお、武田（2007a、2007b）の議論あるいは、そのベースになっている下記論文には、以下のような 3 つの根本的な問題点がある。

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

問題点 1

「極地（polar region）」に関する定義が、上記論文および武田の議論では間違っている。これが根本的な欠陥であり、すべての間違いがここに起因している。

一般的にも、水循環を議論する際においても、IPCC の定義でも、「極地」は、緯度 60 度あ

るいは 66.34 度以上の地域で、グリーンランドやヨーロッパ・アジア・アメリカなどの高緯度地域の山岳氷河などの陸域と水域の両方を含む地域概念である（IPCC の定義に関しては、IPCC 第三次報告書第二作業部会第 16 章 807 頁 Polar Region を参照のこと）。

一方、上記論文および武田（2007a、2007b）の議論では、一貫して、「極地＝南極大陸と北極海のみ」と勝手に誤った解釈をして論を進めている。武田は「IPCC をそのまま紹介している」と主張しているが、残念ながら、それは事実ではない。

したがって、例えば、上記論文の英文アブストラクトでは、"IPCC concluded that in their past three reports that sea level was estimated to be lower because of ice in the polar regions due to climate change"とあるが、IPCC はそのような結論を出していない。同様に、上記論文には「IPCC 報告書で海面水位が低下する（を低下させると、の書き間違い？明日香注）記述されていた極地の氷に関して」（422 ページ右段上から 21 行目）と記述されているが、IPCC 報告書のどこを見ても、このような記述はない。繰り返しになるが、IPCC 報告書には「極地の氷は海面水位を上昇させる」と記述されており、武田らの理解とは全く逆である。

すなわち、「極地」という言葉を正確に把握する限りにおいて、極地の氷が海面上昇に与えるプラスの影響に関する IPCC と環境省との見解に齟齬はない。1981 年以降に発行された環境白書を調査したところ、すべての版において正確に「極地」という言葉が使われており、上記論文などで武田らが問題としている「北極海の海氷が溶けたために海面が上昇した」というような記述は、環境白書の中には一カ所も存在していない。すなわち、武田（2007a、2007b）による環境省批判の中核で、武田らの上記論文にもあるような「環境省が IPCC と異なる表現を採用している」（123 ページ左段上から 3 行目）という事実は全くなく、残念ながら、武田らが、「極地」の定義に関する誤った理解のもと、勝手に決めつけているだけである。

問題点 2

上記論文では「朝日新聞の海面上昇に関する記事 96 件（1984 年～2005 年）のうち、33 件が北極の海氷を上昇の原因の一つとしていた」としている。確かに、何割か（3 割程度？）の朝日新聞の温暖化被害に関する記事が、IPCC 報告書や環境白書などのメッセージを誤解して受け止めた（極地の氷＝北極海の海氷と早合点した）朝日新聞の記者によって書かれた可能性はある（科学部に属する同じ人が書いている可能性もあるので、朝日新聞の記者全体の中での割合はわからない）。

ただし、これは単なる特定の新聞記者の個人的な「誤解」であり、意識的な「ウソ」とは明確に区別するべきである（「誤解」という言葉と、武田（2007a、2007b）が著書のタイトルで使っている「ウソ」という言葉は、一般的な日本語の用法においては同じではない）。

多くの一般市民が「北極海の海氷が融けて海面が上昇する」と誤解したとすれば、その理由は、1）誤報の割合が高かったこと、2）朝日新聞の持つ権威と購読者数、2）日本の理科教育の貧困、の三つが主な原因だと思われる（より詳細な検証は必要かもしれない）。

少なくとも、IPCC、環境省、研究者が「ウソ」を言っている事実はなく、彼らに責任を負わ

すような武田らの様々な言動の方が社会をミスリードしているように懸念される。なお、極地＝北極海と南極のみ、と単純に考えてしまったという意味では、朝日新聞の記者と武田らは同じ誤解をしたように思われる。

問題点 3

武田の著書『環境問題はなぜウソがまかり通るのか 2』（武田 2007b）の中で、武田は、「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」と書いている（44 頁 1〜4 行目）。

率直に言って、この文章はかなり問題である。

第一に、このような「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」という記述は、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 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. {4.6, 4.8, 5.5}

注：出所は IPCC 第 4 次報告書第一作業部会 SPM 5 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 0.19 mm/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）によるとも書いてある。（These estimates are based on improved satellite and in situ data now available. SPM 7 頁左段）

恐らく氷の融解と海面上昇の関係に関して一般市民が一番知りたい情報は、南極やグリーランドなどの個別の影響ではなく、「極地の氷」全体の影響に関する最新のものではないだろうか。それは、前述のように、IPCC 第四次報告書によると 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、明らかに一般市民をミスリードするものである。

いずれにしろ、IPCC にある最新の研究成果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することは、残念ながら、武田らがさまざまな著書や論文で批判しているマスコミと同じレベルの行動のように思われる。

3.3. 地球大気の構造・光学特性に関する議論

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とるに足らない」、また、「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（2004、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 18. 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 度である。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の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 度）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（2006）の主張では、放射の代表温度をもつ高さが変化す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、赤外線で宇宙から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 12 において、地球の出す放射の代表温度が Te で、太陽から受け取る放射とつりあっているとする。実線の温度分布ならば、図 12 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ったとすると、放射を出す代表位置が A'に変わる。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 Te 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。なお、実際には地表付近の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。

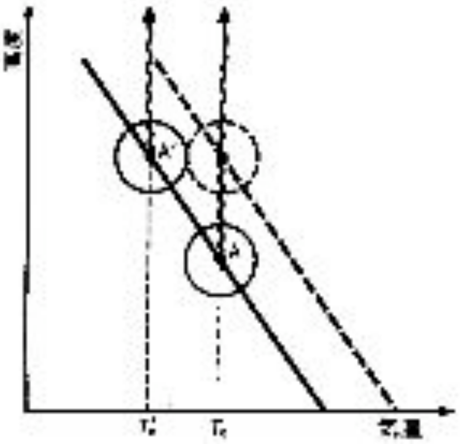

図 12　気温と高度との関係を示す模式図

出所：真鍋（1985）再録 内嶋（1990）

議論 19. 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」という概念に敏感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、槌田（2006）の批判はさらに当たらない。

議論 20. 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。CO_2 温暖化説は、これを十分に考慮していない（槌田 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。地球大気の対流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や他の気体成分・エーロゾルの量が同じとすれば、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変化すれば、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 21. 水蒸気の濃度変動は大きい。30 度で飽和水蒸気は 42000 ppm、10 度では、12000 ppm、0 度では、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）。このように温暖化ガスの主役は水蒸気である。CO_2 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（槌田 2005b）。

＜反論＞

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、N_2O、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 の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 度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 度と評価できる。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決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、決して水蒸気の重要性が見落とされているためではない。

議論 22. 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 13 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。

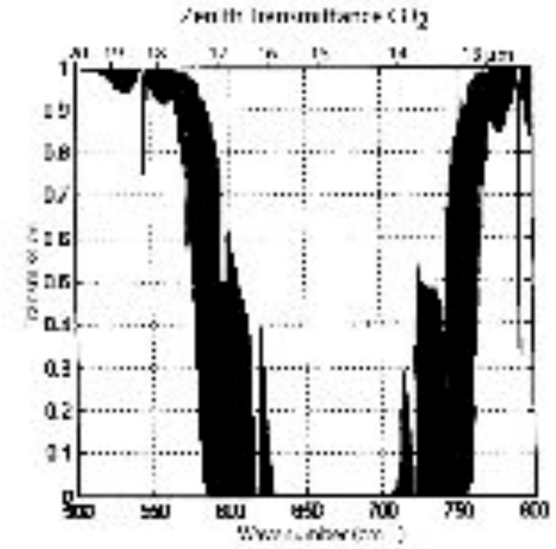

図 13　二酸化炭素による放射透過率

出所：Petty（2004）

しかし、この図 13 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。従って、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。

また、図 13 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。

4. 温暖化問題の優先順位

「温暖化問題よりも重要な問題がある」というのは、懐疑派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、それらの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、個人的な価値観が入ることは否めない。しかし、温暖化や地球科学に関する基本的な事実や他の問題との相関関係などを無視したような議論は、結局は、温暖化対策の先延ばしを助長し、責任逃れの口実となる。本節では、これらの主張について具体的な反論を行っていく。

議論 23.「人類社会にとって寒冷化の方が問題である」(槌田 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良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[5]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24. 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(槌田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実例はあり、回復できないということはない[6]。

---

[5] 例えば、Berger and Loutre(2002)。

[6] 炭鉱事故は、閉山が関係あ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(推定死亡者年間 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、その対策として温暖化対策を止めることが有効かどうかは疑問である。

議論 25. 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 ; Crighton 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、HIV 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 1）費用便益分析の問題、2）問題の選び方、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 の費用便益分析の問題は、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 秒間に一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。逆に、多くの場合、気候変動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（例：石炭や動物の排泄物を燃料としている無電化地域の再生可能エネルギーによる電化。多くの経済学者や SF 作家は、この相互関係に関する知識が乏しいように思われる)。

「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どちらが大事か」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、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、（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。

「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可能な論法である。しかし、たとえば、ロンボルグの主張を支持する米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）エー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、懐疑派の術中にはまることに他ならない。

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、グロバー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 26.「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特定の人々を利するだけである。

議論 27.「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＞

言うまでもなく、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）

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。例えば、ごく最近発表されたセイシェル諸島でのフィールド調査（21 ヶ所、5 万平方メートル）によると、1998 年のエルニーニョによる温度上昇によって、すでに珊瑚礁の 90%が白化して魚類も激減していた。複合的な原因から人為的な気候変化の寄与分を切り出すことは困難であるが、この被害にも 20 世紀後半に生じた温暖化傾向が関わっているものと考えられている。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、資源の有効利用や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ーブローのように効いている懐疑論に対しては、（疲れるなと思いつつも）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。国立極地研究所の川村賢二 助教から、安定炭素同位体に関する貴重な情報を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

Ackerman, Frank and Heinzerling, Lisa（2005）“Pricing the Priceless: Cost-Benefit Analysis of Health, Safety, and Environmental Protection”.
（http://www.progressiveregulation.org/perspectives/costbenefit.cfm）

会田勝（1982）『大気と放射過程』東京堂出版, 280 pp.

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, 吉村純（2006）温暖化問題に関する討論会発表資料.
（http://www.cir.tohoku.ac.jp/omura-p/omuraCDM/）

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懐疑論へ反論」『経済セミナー』2006年8月号, p.44-50, 日本評論社.

Bard, E., and G. Delaygue (2008), Comment on "Are there connections between the Earth's magnetic field and climate?", *Earth Planet. Sci. Lett.*, **265**, pp.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.

Bousquet et al.（2000）“Regional changes of CO_2 fluxes over land and oceans since 1980”, *Science*, Vol 290, 1342-1346.

Caspersen 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 et al.（1995）“A Large Northern Hemisphere Terrestrial CO2 Sink Indicated by the 13C/12C Ratio of atmospheric CO_2”, *Science*, Vol 269, pp.1098-1102.

Crichton, Michael（2007）“Global warming is not a crisis”, debate organized by the Intelligence□^{2}, 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*, Vol.85, No.39, 28 September 2004.

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ココが知りたい温暖化」(http://www-cger.nies.go.jp/qa/1/1-1/qa_1-1-j.html)

Foukal P, G North, and T Wigley（2004）“A stellar view on solar variations and climate”, *Science*, **306**, 68-69.

Foukal, P., C. Frölich, 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.

Feely, Richard A.;Wanninkhof, Rik; Takahashi, Taro; Tans, Pieter.（1999）“Influence of El Nino on the equatorial Pacific contribution to atmospheric CO_2 accumulation”, *Nature*, 4/15/99, Vol. 398 Issue 6728, p.597.

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**, pp.170-193.

Freyer, H. D., （1979）“Variations in the Atmospheric CO_2 Content”, in *The Global Carbon Cycle* (Chapter 2), B. Bolin, E. T. Degens, S. Kempe, and P. Katner (eds.), SCOPE 13, Wiley, 491pp,

Fröhlich, C. and Lean, J.（2004） “Solar radiative output and its variability: evidence and mechanisms”, *Astron. Astrophys. Rev*. 12, 4, 273-320.

Gray, LJ, 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, James 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.

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.

池田清彦（2006）『環境問題のウソ』 ちくまプリマー新書.

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（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』第16号（2005年1月）, 東京財団. （http://www.tkfd.or.jp/publication/reserch/chikara16_3.shtml）

伊藤公紀（2003）『地球温暖化』, 日本評論社.

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/)

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.

Jones, C. D., and P. M. Cox (2001), "Modeling the Volcanic Signal in the Atmospheric CO2 Record", Global Biogeochem. Cycles, **15**, pp.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.

Karl, T.R., S. Hassol, C.D. Miller and W.L. Murray （eds） "Temperature trends in the lower atmosphere: steps for understanding and reconciling differences", A report by the Climate Change Science Programme and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC. （in draft）.

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』, Vol.52, No. 6（2005年6月）, 日本気象学会. （http://www.s-ws.net/tenki/cont/52_06/co.html）

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）

Keeling, Piper and Heimann（1996）"Global and hemispheric CO_2 sinks deduced from changes in atmospheric CO_2 concentration", *Nature*, Vol 381, 218-221.

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,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. and T. P. Whorf（2005）“Atmospheric CO_2 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.

Kitagawa, H., and E. Matsumoto (1995) "Climatic implications of $\delta^{13}C$ variations in a Japanese cedar (Cryptomeria japonica) during the last two millenia", *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2155-2158.

Knutson et al.（2006） *J. Climate*, **19**, 1624-1651.

近藤邦明（2006）『温暖化は憂うべきことだろうかーCO_2地球温暖化脅威説の虚構ー』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, J.（2000）“Evolution of the Sun’s spectral irradiance since the Maunder Minimum”, *Geophys. Res. Lett*., 27（16）, 2425-2428.
（http://www.agu.org/pubs/crossref/2000/2000GL000043.shtml）

Lenoir, Y.（2001）“Climat de panique”, Éditions Favre, Lausanne, 223pp.; 神尾賢二 （訳）, 2006 : 気候パニック, 緑風出版, 416pp.

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.（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, 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 et al.（2003）“ Anthropogenic CO_2 uptake by the ocean based on the global chlorofluorocarbon data set”, *Science*, Vol. 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：CO_2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.

Mears C.A. and Wentz F.J.（2005） “The Effect of Diurnal Correction on Satellite-Derived Lower Tropospheric Temperature”, *Science*, **309**, pp.1548-1551. doi:10.1126/science.1114772

向井人史（2007）「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）

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)

Oreskes Naomi（2004）“The Scientific Consensus on Climate Change”, *Nature*, 3 December 2004, vol. 306.

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.

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）.

Petty W. Grant（2004）"A First Course in Atmospheric Radiation", Madison WI USA: Sundog Publishing, 445 pp. ISBN 0-9729033-0-5.

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.

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*, VOL. 32, L19809, doi:10.1029/2005GL023624.

Pielke, Roger A., Jr（2005）"Consensus About Climate Change ?" , *Science*, Vol. 308, 13 May 2005, p.953.

Plass, G.N.（1956）"Carbon dioxide and the climate", *American Scientist*, Vol. 44, 302 - 316.

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.

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 CO_2", *Science*, 305, 367-371.

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.

Schmidt, G.（2005）"Water vapour: feedback or forcing?" http://www.realclimate.org/index.php/archives/2005/04/water-vapour-feedback-or-forcing/

Sherwood S., Lazante J. & Meyer C.（2005） Sciencepublished online , doi:10.1126/science.1115640

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", 309, 1556-1559, doi:10.1126/science.1115640.

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）

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**, pp.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*, Vol. 296 26 APRIL 2002 p. 727-730.

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**, p.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.

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*, VOL. 109, D14206, doi:10.1029/2003JD004479.

Takahashi, T., S. C. Sutherland, C. Sweeney, A. Poisson, N. Metzl et al.（2002）“Global sea-air CO_2 flux based on climatological surface ocean p CO_2, and seasonal biological and temperature effects”, *Deep Sea Research*, Vol. 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.

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.

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 CO_2 and $\delta^{13}C$ ice-core record", *Tellus*, **51B**, pp.233-248.

槌田敦（2007）「CO_2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.

槌田敦（2006）『CO_2温暖化説は間違っている』ほたる出版.

槌田敦（1999）「CO_2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.
槌田敦（2004）「CO_2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.
槌田敦（2005a）「CO_2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.
槌田敦（2005b）「CO_2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.
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）
薬師院仁志（2002）『地球温暖化論への挑戦』八千代出版, 334pp.
矢沢潔（2007）『地球温暖化は本当か？』技術評論社, 231pp.
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.
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.