

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 54, No. 226
2015. 1

HTSJ

◆特集：今、地球はどうなっているのか？「地球規模の環境問題」



① 森林火災の煙と熱積雲 (pyro-cumulus)
米国アラスカ州ムーン湖付近, 2013.7.4.



② 森林火災後の花畑 (左上枠内の花はヤナギラン,
Fireweed)
米国アラスカ州イーグルサミット付近, 2006.7.27.



③ バイカル湖の透明氷と割れ目
ロシアイルクーツク州東方, 2003.3.16.



④ ドーム状の丘陵地形 (pingo)
米国アラスカ州スーアード (Seward) ハイウェイ
Tumagain 峠付近, 2007.8.2.

野外で観測される種々の伝熱関連の諸現象

Various Phenomena Related to Heat Transfer Observed in the Fields

森林火災に関連した調査研究の折に撮影した、大学の実験室では難しい、スケールの大きな伝熱に関連した諸現象です：①森林火災で生じた熱プルーム（熱積雲と呼ばれ、上空の温度境界層での黒煙と白煙の分離は水蒸気の潜熱で説明できる）。②火災跡地に数年間だけ生じる花畑（大規模に熱のバランスが変化する）。③放射冷却による透明な天然氷（厚さは約 50cm）。④ピングと呼ばれる永久凍土域に見られる特徴的な地形の一つ（この他にも氷楔，エドマ，アラスなどがある）。

(※①～④は著者撮影，②は朝日新聞社提供)

早坂洋史 (北海道大学)

Hiroshi HAYASAKA (Hokkaido University)

E-mail: hhaya@eng.hokudai.ac.jp

伝 熱

目 次

〈巻頭グラビア〉

野外で観測される種々の伝熱関連の諸現象 ……………早坂 洋史（北海道大学） …………… 表紙裏

〈特集：今、地球はどうなっているのか？「地球規模の環境問題」〉

気候変動における自然変動の重要性 …… 赤祖父 俊一（アラスカ大学フェアバンクス校） …………… 1
 現温暖化における温度変化と放射の役割 …………… 大村 纂（スイス国立工科大学） …………… 6
 地球温暖化のハイエイタスが自然変動によるものならば人為起源の温暖化の将来予測は
 過大評価となる …………… 田中 博（筑波大学） …………… 12
 急速な北極圏の温暖化とその影響 …………… 榎本 浩之（国立極地研究所） …………… 16
 東アジアにおける PM2.5 の広域汚染 …………… 大原 利真（国立環境研究所） …………… 22

〈海外レター〉

ジョージア工科大学滞在記 …………… 櫻井 篤（新潟大学） …………… 27

〈行事カレンダー〉 …………… 31

〈お知らせ〉

第 52 回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集 …………… 32
 優秀プレゼンテーション賞（第 52 回日本伝熱シンポジウム）について …………… 36
 日本伝熱学会講習会「伝熱工学の基礎」 …………… 37
 事務局からの連絡
 ・編集出版部会からのお知らせ …………… 38
 ・新入会員一覧 …………… 39

〈編集出版部会ノート〉 …………… 43

Vol.54, No.226, January 2015

CONTENTS

< Opening-page Gravure:heat-page >

Various Phenomena Related to Heat Transfer Observed in the Fields

Hiroshi HAYASAKA (Hokkaido University) Opening Page

< Special Issue : What happens to the earth now? “Global Scale Environmental Issues” >

The Importance of Natural Variability in Climate Change

Shunichi AKASOFU (University of Alaska, Fairbanks) 1

Temperature Changes and the Role of Radiation in the Current Global Warming

Atsumu OHMURA (Swiss Federal Institute of Technology (E.T.H.)) 6

Warming Hiatus is Internal Origin, then Global Warming Prediction is Overestimated

Hiroshi L. TANAKA (University of Tsukuba) 12

Rapid Warming in the Arctic and its Influences

Hiroyuki ENOMOTO (National Institute of Polar Research) 16

Regional Air Pollution of PM2.5 in East Asia

Toshimasa OHARA (National Institute for Environmental Studies) 22

< International Letters >

A Diary in Georgia Institute of Technology

Atsushi SAKURAI (Niigata University) 27

< Calendar > 31

< Announcements > 32

< Note from the JHTSJ Editorial Board > 43

気候変動における自然変動の重要性

The importance of natural variability in climate change

赤祖父 俊一 (アラスカ大学フェアバンクス校)
Shunichi AKASOFU (University of Alaska, Fairbanks)
e-mail: sakasofu@iarc.uaf.edu

1. はじめに

地球温暖化は極めて複雑な問題である。異常気象、異常気候が問題になっているが、それを論ずる前に科学一般の問題として、異常を定義する基準線（ベースライン）について述べる。それはベースラインの引き方によって結論が大きく異なってくるからである。

2. 異常気象、異常気候

「異常」の定義は、あるベースラインからの外れのことである。異常の反対は正常であるが、正常気象、正常気候は実際には存在しないのではないか。「正常」気象とは10年、50年、100年という期間の平均的なものであり、平均作業によってプラス、マイナス（気温では異常高温、異常低温）の外れが消去されたものである。

3. ベースライン（基準線）

従って、異常気象、異常気候は、気象、気候学のベースラインという問題に直結している。しかし、気象、気候学において物理的に意味がある基本的なベースラインは零度 $^{\circ}\text{C}$ 以外存在しないと行ってよい。

ベースラインは一般的には、ある期間の平均値が使われている。従ってベースラインは期間の設定とその期間の長さにより異なる。例えば、1900年から1950年の期間の気象データの平均値と1950年から2000年の平均値が異なるのは当然である。従って、そのようにして求めたベースラインには根本的な、そして基本的な物理学的な意味がない事が分かる。ある現象を強調するためにベースラインを適当に選ぶ（平均値でなく）場合もある。

例えば、地球温暖化の問題で、(図1右上)がしばしば使われているが、ベースラインは1975年頃より温暖化が急速に進んでいると主張するために

引かれたものである。しかも、ベースラインよりも上の値を赤で、下部を青で示してその主張を強調している。大気中の炭酸ガスは第二次大戦直後の(1946年頃)より急増した(図1左下)。従って、急速に進んでいる温暖化と炭酸ガスの間に問題があるとしたのである。しかし、注意して(図1右上)を見ると1910年から1945年の期間に顕著な気温増加があった事が分かるが、この上昇について十分な説明がない。しかも1940年から1975年まで(1945年頃から炭酸ガスが増加したにも関わらず)気温上昇は低迷、下降さえした。当時炭酸ガスの増加に伴うはずの気温の上昇がないのは大氷河期の到来の先兆であると騒がれた。1910年から1945年の上昇については後に述べる。

それより、少々長い1880年からの気温変化を図1(左上)に示してあるが、気温は1880年頃より直線的に $+0.5^{\circ}\text{C}/100$ 年の勾配で上昇していた事が分かる(赤線)。従って図1(右上)のベースラインの外に $+0.5^{\circ}\text{C}$ の勾配の直線($Y=aX+b$)も一つのベースラインと考える事も可能である。要するに、1880年からの気温変化をいかに正確に表現する事が出来るかという問題である。直線に乗った変化を準周期的正弦(sin)変化とすると最も正確な表現は($Y=aX+b$ +準周期運動)であろう。実際、直線をベースラインとする準周期運動は60年周期の異常気候とされてきた。

従って気温変化のベースラインの設定は自分の引くもの、他の研究者が引くもの、いずれも何を基準にしてラインを引くか、引かれているか注意が必要である。

更に800年から2000年までの気温変化(図1右下)を見ると、温暖化は1800年頃より始まっており、その勾配は $+0.5^{\circ}\text{C}/100$ 年である。したがって、図1左上の気温上昇(直線の部分)は1800年頃より同じ勾配で始まっていた事になる。(同じ勾配という事が大切である。)すなわち、地球温暖

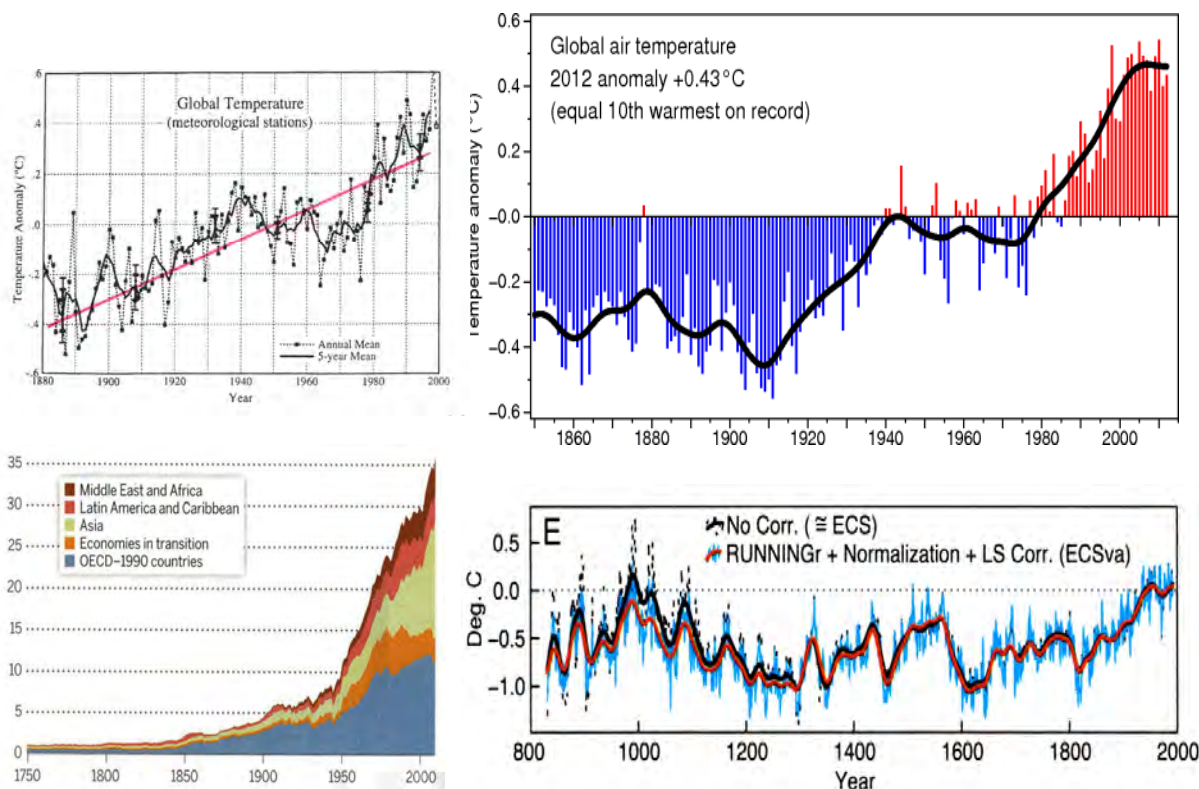


図1 (左上) 1880年からの気温変動を特別のベースラインを使って示したもの[1]
 (左下) 大気中の炭酸ガス量の変化[2]
 (右上) 1850年からの気温変動[1]
 (右下) 木の年輪から求めた気温変動[3]

化は1800年頃から2000年まで+0.5°C/100年の勾配で始まっていたのである。

図1右下で分かるように1000年頃は現在ほど暖かかった。これは中世温暖期と呼ばれるが、その後1200年頃より1800年まで現在より1°Cほど低かった。これは小氷河期と呼ばれ、世界中の主な氷河が発達した時期として知られている。これは人間活動によるものではなく自然変動である。この1800年頃よりの直線の部分は炭酸ガスの急激な上昇以前からの現象であるので炭酸ガスによるものではない。即ち自然変動であり小氷河期からの回復とも考えられる。

従って炭酸ガスの影響を求めたければ自然変動を差し引かなければならない。直線的に乗った準周期変動も1910年から始まっているので、これも自然変動の可能性が高い。従ってこれも差し引かなければならないのかも知れない。図1左の図より ($Y=ax+b$ +準周期運動) を差し引いた残りがあ

れば炭酸ガスの影響がある可能性がある。即ち、記録から自然変動を同定してそれを差し引かなければ炭酸ガスによる気温上昇を求める事が出来ない。国際気候変動パネル (IPCC) は自然変動を無視し、勝手に1975年から2000年の上昇は殆ど炭酸ガスによるものだと断定したのである。

4. 大氷河期

図2 (上) は教科書にも引用されている40万年の気温変化を示しており、その期間に4回大氷河期あった事を示している。ベースラインは1950年の平均気温である。従って、1950年が特別に物理的は意味がなければその年の平均という以外にベースラインの科学的意味がない。

そこで、過去40万年の最低気温、すなわち、1950年の平均気温から約10°C低い気温をベースラインとしてとってみると気温変化に少々違った解釈が出来る。気温変動は過去40万年の間にパルスの

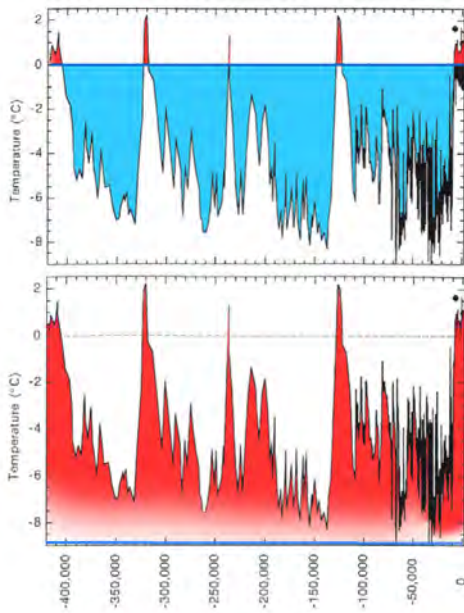


図2 (上) 一般的に信じられている過去70万
年の気温変動
(下) ベースラインを1950年の平均温度か
ら約10°C下げたときの気温変動[4]

に4回上昇した。図2(上)のベースラインより上は(+15°Cをベースラインとしたために)「間氷期」と呼ばれているが、それは単に気温上昇のピークの期間である。

図2(上)では気温は7万年かけて低くなって行くが、図2(下)ではパルス全体が heat input の形である(1万年くらいの短期間のパルスの heat input だけでは地球は数万年で冷えてしまう)。従って大氷期の原因は「なぜ地球が7万年かけて冷えたか」というより「なぜパルスの暖まったか」と言う事になる。

5. ホッケースティック

IPCCが2001年に発表した図3は1900年頃から気温が急速に上昇したことを示しているが、そのベースラインの意味はなく、実際はデータの捏造であった事が発覚したのは読者も御存知だと思う。

6. 2000年からの温度上昇の停止

1800年頃から+0.5°C/100年の勾配で上昇して来た気温が2000年頃から止まってしまったよ

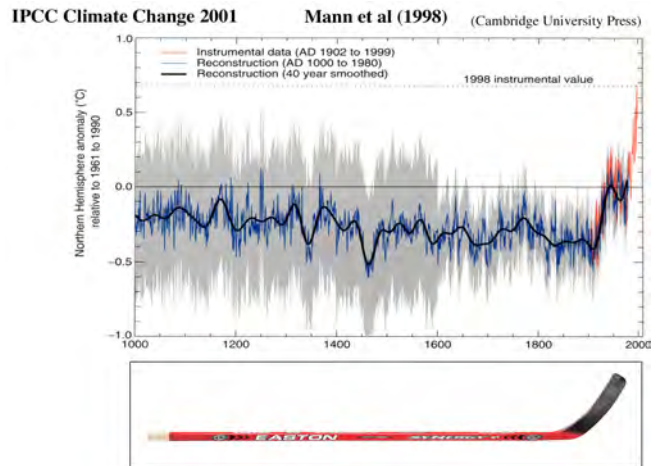


図3 ホッケースティックと呼ばれた1000年
からの気温変動[1]

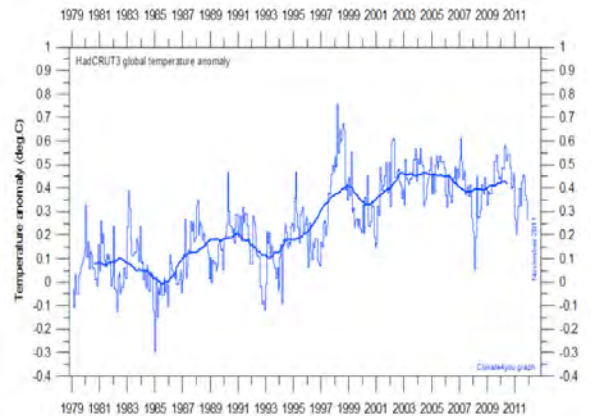


図4 1979年からの気温変動[1]

うに見える(図4)。その理由の一つは、温度変化は+0.5°C/100年の上昇勾配にすでに述べた準周期変動(±0.2°C/10年)のためかもしれない(図5)。即ち、1940年から1975年までの低温期と同じかも知れない。

すなわち、炭酸ガス放出量は急速に増加している(図1左下)にも関わらず気温上昇が低迷しているのは気温変動の原因は炭酸ガスだけではないという事が分かる。自然変動もきわめて重要であり、IPCCの結論である「1975年から2000年の気温上昇は殆ど炭酸ガスによる」という結論は全くの誤りである。

7. 異常気象、異常気候と温暖化の関係

NOAAのデータ(図6)によると竜巻の数は近

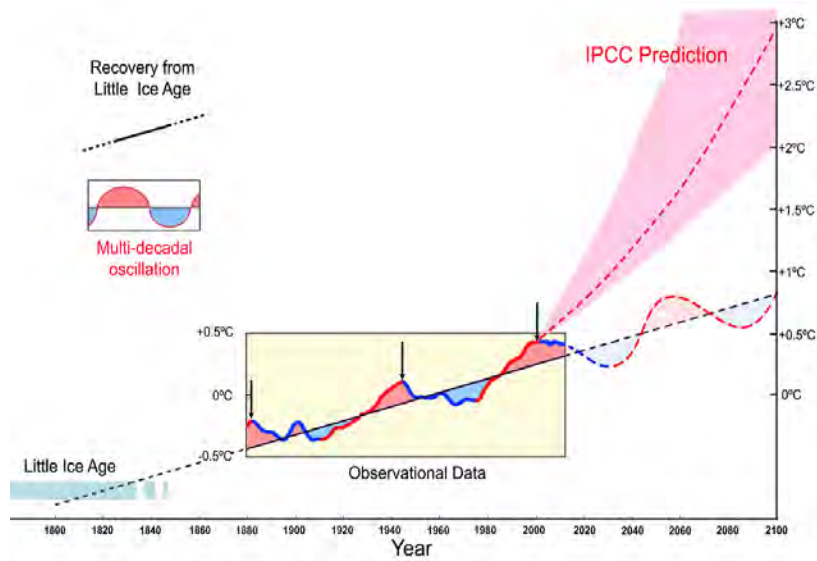
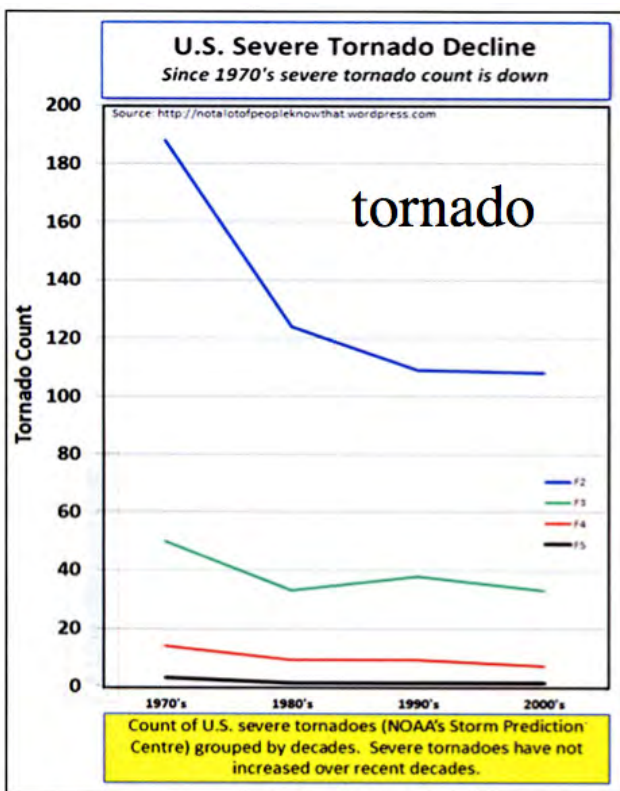
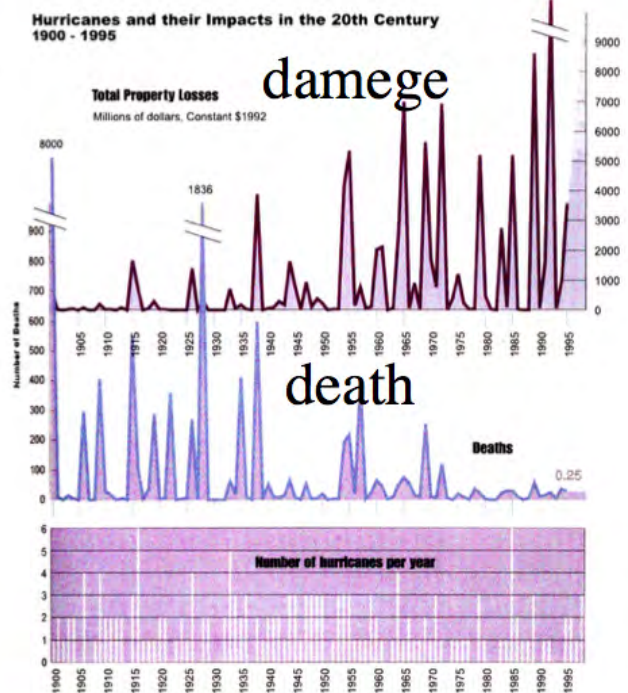


図5 1800年頃からの気温変動[5]



<http://www.c3headlines.com/severe-weather-chartsgraphs.html>



Hurricane

図6 (左) 竜巻の発生数の変化, (右上) ハリケーンによる被害,
(右中) ハリケーンによる死亡者数, (右下) ハリケーンの発生数[6]

年減少している。大西洋のハリケーンの数が増加しているとも言われているが、この傾向はない。

しかし、その被害額は急速に増加している。これは何を意味しているのだろうか。1900年頃と比較

して特に都市部近郊は大きく発展した。従って竜巻やハリケーンのターゲット(影響を及ぼす範囲)も大きくなった。崖崩れの数も増加しているようであるが、無理な住宅建設や上流の森林伐採などによるものの被害増加数と異常気象の頻度が混同されている可能性があるうえに、そのような大きな災害は直ちに全世界に報道され、テレビで見る事ができ温暖化との関連を洗脳的に植えつけられる。

8. 観測事実

a) 氷河の後退が炭酸ガスによるとされているが、世界の多くの氷河は 1800 年頃より既に後退を始めていて、1950 年頃から始まった現象ではない。

b) 北極海の海氷面積の減少が炭酸ガスによる影響とされているが、1970 年頃より強くなった北大西洋の暖かい海流により海氷が薄くなり、バラバラになり移動しやすくなったためのようである。2007 年と 2012 年に強い嵐でカナダ側に吹き寄せられ面積が減少した氷は現在 1975 年頃の面積に戻りつつある。なお南極の海氷はわずかではあるが増加を続けているが、これはニュースにならない。

c) 南極の氷の分析によると、気温上昇が炭酸ガ

スの増加に 800~1500 年ほど先行している事が分かっている。原因、結果が逆の可能性もある。

9. おわりに

以上述べてきたように、地球温暖化、異常気象、異常気候を論ずるには過去と現在の観測データの冷静な解析が必要である。炭酸ガス放出を削減する事に異論はないが、自然変動を正確に差し引く事が出来ない限り炭酸ガスによる気温上昇を求める事は出来ない。コンピュータによるシミュレーションは気候学の王道と考えるのは誤りである。

参考文献

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), <http://www.ipcc.ch>.
- [2] Science 345, 6192, 2014.
<http://www.sciencemag.org/content/345/6192.toc>
- [3] Espen et al, Science 295, 2250-2253.
- [4] Akasofu, Climate, 2, **129-132**, 2014.
- [5] Akasofu Natural Science, 2, **1211-1224**, 2010.
- [6] NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration), <http://www.noaa.gov>.

現温暖化における温度変化と放射の役割

Temperature changes and the role of radiation in the current global warming

大村 纂 (スイス国立工科大学)

Atsumu OHMURA (Swiss Federal Institute of Technology (E.T.H.))

e-mail: ohmura@env.ethz.ch

1. まえがき

現在我々が直面する環境問題のうちで最も重要なものは過去百年の約 1°C と言う汎世界的温暖化であろう。これは自然界で最も激しい温暖化とされる最終氷期最寒冷期から氷期の終わりに起こった昇温率の 20 倍である。現在の温暖化の深刻さは温度上昇の絶対値もさることながら、この未曾有の昇温スピードにあり、我々を含む最終氷期の生き残りの子孫である現エコシステムは今までの経験にない試練に曝される事になる。しかもその過程は単調増加ではなく中程に 30 年にわたる寒冷期がある。本論文では振動を含んだ昇温が温室効果による温暖化とエアロゾルによる寒冷化の微妙なバランスとその崩れによって成り立っている事を大気透過度、全天太陽放射、大気赤外線放射の実測値に基づいて論ずる。本論文の方法と結論は最近の 10 年間減速した温暖化の原因を探るのに役立つ。

2. はじめに

2.1 気候と気候変化の定義

気候と気候変化の定義から始めよう。気候は 30 年の期間を母集団とする大気の統計的な特性と定義される。始めは気候の解釈の混乱を避けるために 1935 年の世界気象庁長官会議で定められた取り決めであったが、後になって大気の周期性の中に 30 年に近い周期性がきわめて乏しい事が指摘され、偶然ながら 30 年の期間は気候の定義に極めて適していると指摘されている[1]。したがって気候変化とは 30 年の観測に基づく母集団の特質そのものの変化であり、30 年以下の変化は気候を特徴づける変動と解釈される。日変化、6 ヶ月周期、年周期、QBO (Quasi-biennial Oscillation), El Niño/ Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation

(NAO), Arctic Oscillation (AO)などがこれに属する。これに対し変動が 30 年以上の長さになる例では 20 世紀初頭以来現在までの温度変化であり、これは気候自体の変化即ち気候変化として取り扱う。

2.2 気温と放射の観測値の持つ意味

気候変化を論ずる時の気候値を計算するのに最も適った気候要素は気温である。気温は多くの気候要素の一つにすぎないが、その時系列は最も均一性に高く気候変化を検討するのに適している。それは既に 18 世紀の初めに精度の高い水銀温度計がファーレンハイト (D.G. Fahrenheit) によって発明され、19 世紀後半には温度計によって可成り純粋な気温の測定方法がアスマン [2]によって確立されていた事による。最も多くのデータを擁する気候値のアーカイヴである Global Historical Climatology Network (GHCN) は現在約 7300 箇所の気温値を保管しているが、20 世紀初頭から連続観測が行われているのは約 1800 箇所である。1900 年以前まで辿るとその数は激減し観測点の地理的分布も甚だ不均一になる。そのため、全球の気温変化を論ぜられるのは高々、1870 年以後である。

人類の生活に大切な水資源となる降水に関しては観測器と、観測方法の不均一さのために残念ながら気候変化の分析に耐えうる観測値は極めて少ない。それに反して、観測がもっと複雑になる放射は太陽放射に関しては、気温に次いで気候変化の分析に耐えうる長い観測年をもっている。それは、既に 20 世紀の初めに放射測定標準放射計が開発されていた事による。更に後述するように気温は放射収支と密接に関連しており、両者を一緒に検討する事は気候の成因論の立場から有益でもある。

3. 気候変化の種類とその原因

気候変化は地球の誕生以来おこっていた。いな、変化するという事は気候の重要な特性の一つである。気候変化の形態には、単調変化と振動変化の要素があると考えられる。単調変化の例は46億年前の地球誕生時には小さかったと推察される太陽常数が次第に増加して現在の値(1361Wm²[3])に到達し、将来は更に50億年先のRed giantになるべく増加を続けることによる温暖化である。この一見単調変化と見える現象も短い時間内での解像度をよくして見ると振動が重なっている。変化が単調変化か振動変化かは多くの場合考えている時間の長さによる。周期/準周期振動の顕著な例は過去100万年間に10回起こったと思われる氷期/間氷期の交代現象で全球平均気温の周期は約10万年で振幅は摂氏2.5度であった。この種の気候変化は離心率、近日点黄経、地軸の傾斜などの地球軌道要素の変化による大気上限への太陽放射の変化によると考えられる。もっと身近な気候変化の例では20世紀初頭以来現在まで113年の温度変化で、これは全球平均で摂氏1.1度の昇温である。詳しく見ると1910年から1940年までは昇温期でその後1970年までの30年間は寒冷期に入る。その後現在まで最も急峻な温暖化が観察され、こうした微細な振動を一応平均してみた。1900年以降の昇温傾向は二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、境界層内オゾンなどの温室効果ガスの増加によると考えられている。こうして見ると、氷期/間氷期形の気候変化は太陽放射の変動により、また現在進行中の人為的温室効果は大気の長波放射の増大に由来していると考えられ、気候変化起因における放射の重要性が伺われる。

このような外部要因の他に大気/海洋/岩石圏からなる気候システムが内蔵するかもしれない固有振動も気候変化の原因となりうると考えられている。準周期的振動ではENSO, NAO, AOなどがあり、これらの振動の周期は普通10年以下であり気候の定義の30年をはるかに下回り、ここでは気候の特性として扱い、気候そのものの変化、即ち気候変化の対象とは考えない。30年以上の時間スケールで大気と海洋の相互作用として観察されているのは現今の気温上昇に伴う海水温の上昇で熱量に換算して全球平均で0.7Wm²の熱量が大気から海洋に流れており、大気から海洋への一方的な

働きかけで、これを基に海洋が大気に能動的に働き返して30年以上持続する顕著な変化を引き起こす現象は今のところ観察されていない[4]。しかし、近い将来北極圏の海水の消滅などの大変化が起きた場合、長い記憶力をもつ海洋が大気に大きな持続性のある変動を引き起こすかもしれない。しかし、今のところでは大気/海洋の相互作用による固有振動による気候変化は観察されていない。これを見ても、放射変動が気候変化に持つ意味は大きく、多くの気候変化の起因となると考えられる。これが、本題を選んだ理由である。

4. 20世紀初頭以来の温度変化について

1870年以降の全球平均気温をイーストアングリア大学の気候研究教室の解釈によって図1に示す。類似の計算はこれ以外にも米国航空宇宙局(NASA)、米国海洋大気局(NOAA)、欧州中間予報センター(ECMWF)、日本気象庁、ドイツ気象庁などが、独自に行っているが結果は互いに酷似している。

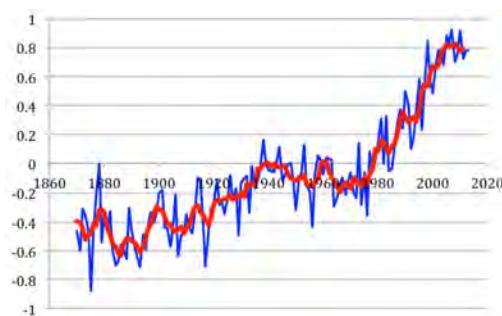


図1 全球平均気温(CRUTEM4v)の変化傾向

図1はイーストアングリア大学気候研究教室(Climatic Research Unit, University of East Anglia)により作成された全球平均気温(CRUTEM4v)の変化傾向図で、青線は年平均値、赤線は5年の移動平均値、縦軸は現在WMOの標準とされる1961年から1990年までの平均値からの差を摂氏温度[°C]で表す。横軸は西暦である。CRUTEM4vは1850年からの値を擁するが著者の判断では最初の15年のデータは全球平均値としての信頼度がそれ以降より劣るため割愛した。

図1より、20世紀最初の10年は顕著な変化が無い、しかし1910年から1940年にかけて30年間に0.39°C、年に0.013°Cの率で昇温した。続いて1940年から30年間1970年まで、僅かながら0.10°C

(年 0.003°C) 寒冷化する。そして、1970 年から 2000 年まで 30 年間に 0.73°C (年 0.024°C) と観測時代最大の昇温率が記録される。この 20 世紀最後の 30 年間に起こった昇温率は 20 世紀前半に起きた昇温率のほぼ 2 倍であった。また 2000 年以降 2013 年までは昇温が止まったと言われ、よくハイエタスと呼ばれているが、実際には年 0.012°C で昇温が続いている。ただ昇温率が半減し、即ち 1910-1940 年代の昇温率とほぼ同じになったのである。ここで注意を要するのは 20 世紀の中葉 1940-1970 年に 30 年にわたって起きた寒冷化である。二酸化炭素が増加していたにもかかわらず 30 年に渉って僅かながらでも寒冷化が起きていた事は説明されなければ、現今の昇温の理由も正確には把握できていない事になる。

5. 温室効果の暖かさ、冷たさ

大気は水蒸気をはじめ二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、オゾン、フロンなど赤外線領域に多くの吸収線を持つガスを含むためいわゆる温室効果を示す。大気の温室効果を最初に指摘したのは Fourier[5]である。その後チンダル (J. Tyndall) やキルヒホフ (G. R. Kirchhoff) によって意外にも微量ガスが大きな吸収率と放射率をもつことが発見される[6]。温室効果の数値的計算には分光計によるガスの吸収帯の吸収率が必要であるため 19 世紀の終わり近くに初めて行われた[7]。最近では 1980 年代に吸収線の吸収測定に関し飛躍的な進歩がありこの時期の前後では温室効果の計算の精度に大きな差がある。温室効果の変化に入る前に、まず温室効果の現状での強さを把握しておこう。この問題に関しては相当の誤解もまん延しているのでまず最も基本的な考察からはじめる。過去 30 年の連続気温観測は 10,000 を超える地点で行われており、そこから推定され地表 (正確には地表より 2m 上) 平均気温は 15°C であり、これは可成り正確な値である。これとは、全く別に地表の温度を太陽と地球の間で成り立つ放射平衡から推定してみる。放射平衡下では地球が吸収する太陽放射と地球が放つ黒体放射が等しいから、次のような方程式が成り立つ。

$$\pi r^2 S(1 - \alpha) = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

r は地球の半径; S は太陽常数で 1361 Wm^{-2} [3];

α は地球の大気を含めた反射率 0.30; σ は Stefan-Boltzmann 定数 $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$; T は地球の黒体放射温度である。ここから温度に関して次の式が導かれる:

$$T = \left(\frac{S(1 - \alpha)}{4\sigma} \right)^{0.25} = 255 \text{ K} = -18^\circ \text{C}$$

地球の黒体放射温度 T の意味は何だろうか? 多くの出版物ではこの $T = -18^\circ \text{C}$ は温室効果をなくした場合の地球の温度で、地球表面付近の実測平均気温の 15°C との差、即ち 33°C をもって温室効果による昇温と解釈されている[8], [9]。本当だろうか?

上に掲げた放射平衡式の地球の反射率 α の内容を検討しよう。これは太陽放射 S が降り注ぐ宇宙の側から見た反射率であるから、当然ながら大気と雲をふくんでの反射であり、地表の反射率よりはるかに大きい。大気の外から見た反射率は惑星反射率と言ひ、実際の地球表面の反射率とは区別される。惑星反射率は 0.30 が最も妥当と考えられる[10]。これに対し地球表面の反射率は 0.15 と著しく小さい[11]。地表面の反射率の小さな値は地表の 70% を覆う海洋の反射率の低さによるところが大きい。また一方 0.30 と比較的大きな惑星反射率は地球の 60% を覆っている雲の大きな反射率によるところが大きい。したがって、 -18°C という比較的低い黒体温度は温室効果の有無とは無関係の雲の大きな反射率に強く影響された値なのである。雲と大気の散乱の影響を取った地球の黒体放射温度は -6°C [12] となるから、 33°C の温度差の内 12°C は雲の反射によるエネルギー損失のためであり、残りの 21°C が温室効果による地表の昇温と解釈される。しかも、この温度は大気の赤外線領域の吸収率 (したがってキルヒホフの法則によって放射率)、したがってガスの種類と量によって変わる。温室効果は大気の構成ガスと温度の関係であるから実際には放射 - 対流モデル (Radiative-convective model) を使って計算するが、定性的には次のように理解してよい。冒頭で掲げた放射平衡式の左辺のエネルギー源即ち太陽放射の吸収は一応一定としておこう。右辺の大気と地表から宇宙に向けての放射は大気のどの高さから多くの放射がでるかに依存する。温室効果ガスの濃度が増すと宇宙に近い低温の大気上層からの放

射が相対的に増えさらに冷却するため放射の絶対値も減少し、それを補うように大気下層と地表面からの放射が増加すべく昇温が起こり全体として大気上限での放射平衡が維持される。成層圏の温度測定が正確になった 1970 年以降の温度変化を見ると、実際に地表付近が昇温するのに平行して成層圏が冷却している事が判明した[13]。地表付近の対流圏の温暖化と成層圏の寒冷化は共に大気の赤外線吸収（放射）、即ち温室効果ガスの増加の結果なのである。このように地表及び対流圏下部の温度傾向と成層圏の温度傾向が相反する事実が観測によって明らかにされ、これはいわゆる温暖化反対派にとっての決定的な打撃となった。

6. 地球のエネルギー収支とその変動

気温と放射の変動を考える前に、現状を捉えておきたい。図 2 に現在最も正確と思われる地球の平均的エネルギー収支を掲げる。この分野の動きを追っている読者はいくつかの点でここに掲げた収支が他の文献とちがう事に気づかれよう。おもだった違いは大気内での太陽放射の吸収の大きい事；したがって地表での全天放射の小さい事；地表へ向かう赤外線放射の大きい事などである。この一見多様に見える違いはひとえに過去の仕事が水蒸気の吸収率、したがって放射率を広い波長領域にわたって過小評価していた事に起因する[14]。大きな問題はここに現れるエネルギー束がどのくらい変化し得るか、または変化しているかという事である。この変化が気候の変化をもたらすからである。

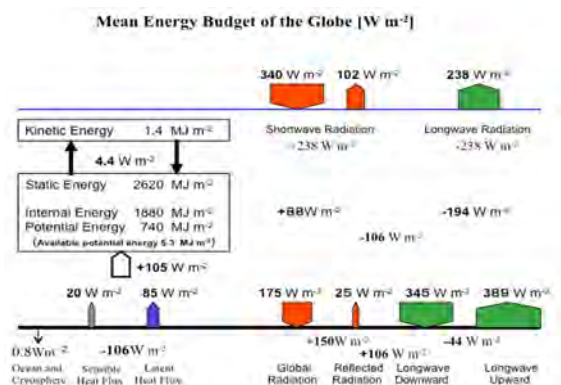


図 2 全球の平均エネルギー収支

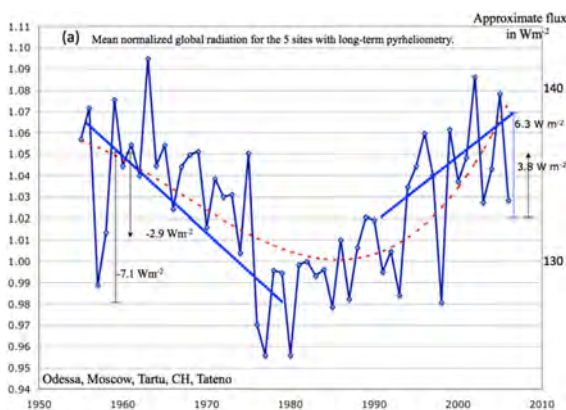
まず大気の上限に降り注ぐ全球平均太陽放射から始めよう。これは太陽常数 (1361Wm^{-2}) の四分

の一にあたる。この量に変化が起これば必ず気候も変動する。35 年という短い時間だが、衛星から実測された太陽常数の長期の変化傾向はゼロである。わずかに太陽黒点数の約 11 年周期に平行した振動があり、その振幅は 0.46Wm^{-2} である。したがって、全球平均の変動の幅は 0.23Wm^{-2} であり、地表付近で起こる温度変化に換算すると 0.03°C ほどで気温測定誤差の範囲内にはいる。

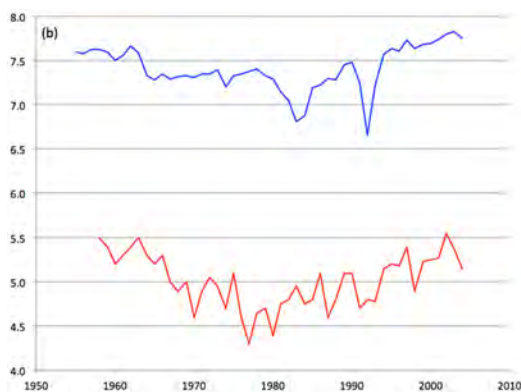
気候変化を引き起こすほどの放射変動は太陽放射が大気に入ってから起こる。太陽放射の大気内での分配でもっとも重要な変動は雲による反射とエアロゾールによる散乱である。雲量とエアロゾールは密接に関連しており、エアロゾールの増加は大気透過度の減少と雲量の増加を引き起こし、この過程がいわゆるグローバルディミング (Global dimming) やグローバルブライティング (Global brightening) の原因と考えられ、地上での全天太陽放射は過去の 50 年間に減少と増加の両方を示した。この現象による全天太陽放射の変動は 30 年で 8 から 10Wm^{-2} で非常に大きい。この全天太陽放射の変化は大気の透過度の変化と位相を共にして起こっておりエアロゾールの影響によると考える根拠となっている[14]。この間の大気の状態を図 3 に実測値によって示す。グローバルディミングからグローバルブライティングへの転換期の前後 25 年ずつ、合計 50 年にわたる全天太陽放射、大気透過度、雲量、日照時間のすべてが連続観測された測候所は世界中でも 10 指に足りない。ここではデータを提供されたオデッサ (Odessa, ただし透過度は近くのフェオドシア, Feodosia から代用)、モスクー (Moscow)、タルツ (Tartu)、スイスの 3 観測所、館野の 5 地点の平均値で考える。

図 3(a)は年平均全天太陽放射で、年平均値は青のダイヤモンド線、三次の近似曲線は赤の破線、青い直線はディミングとブライティングのトレンドの一次近似である。図 3(a)の縦軸 (左) は平均値で正規化された太陽放射、その近似の絶対値は縦軸 (右) に Wm^{-2} で示した。図中二箇所にある垂直バーと矢印はそれぞれ全天太陽放射観測の変化値、とエアロゾールとミー散乱理論による推定値であり、マイナスは減少、プラスは増加を意味する。図 3(a)から、1958 年から 1980 年までに全天太陽放射は 7.1Wm^{-2} 減少した。このディミングは世

界の平均値に極めて近い。この間の大気透過度の減少は0.05であった(図2(b))。またブライトニングの始まった1990年から2005年までに全天太陽放射は 6.3Wm^2 増加しておりこの間の透過度は0.06増えている。観測された透過度の変動とミー散乱理論で全天太陽放射を再現すると観測で得られた差の約50%しか説明できない。したがって、残りの50%は雲量の変化による増幅と考えられる。図3(b)は透過度と日照時間をプロットしてある。図3(b)の縦軸は日照時間に関しては時間/日で、透過度に関してはプロットの都合で透過度 $\times 10$ にしてある。7.5とあれば透過度で0.75である。日照時間を使う理由としては雲量観測では観測者の個人差が大きく出るのでに対し機器観測の日照時間は比較的均一な時系列を提供するからである。透過度の年変化は90%強エアロゾールの変化により10%弱は水蒸気含量の変動による。



(a) 全天太陽放射の年平均値



(b) 年平均大気透過度(青線)と日照時間(赤線)
(大気透過度は $\times 10$ でプロット)

図3 グローバルディミングからグローバルブライトニングへの転換期前後の太陽放射、大気透過度、日照時間の変化

したがって、この図はエアロゾールと雲量との密接な関係を示す。エアロゾールのミー散乱への影響をエアロゾールの(太陽放射への)直接効果、雲の凝集核としての影響を経由するのを間接効果と呼ぶが、この分析は直接効果と間接効果がほぼ五分五分である事を示している。

長波放射の測定地点は1990年以前では数が少ないが、それ以降観測点数だけでなく精度も向上し10年で1から 3Wm^2 ほどの速度で定常的に増加傾向にあることが判っている[14]。これは温室効果ガスの増加の結果と考えられる。この比較から推察できるように太陽放射と大気放射の変動する幅が同じオーダーであり、グローバルディミングが進行して温室効果の増加を凌駕すると地表へ降り注ぐ全放射量(太陽放射と大気放射)が減少し寒冷化が起こる。また、太陽放射の増加期には大気放射と相まって全放射量の大きな増加になる。表1は過去半世紀における太陽放射、大気放射及びその合計である全放射と同時に起こった温度変化を表す。この表から判るように1980年代後半まで続いた寒冷化は大気の透過度の0.77から0.72への減少によって誘引され、また最近の30年間に記録された観測時代最大の昇温は大気透過度の0.72から0.78への増加と温室効果の増加があいまったためにおこったと見る事が出来る。

7. 結論

観測資料が比較的豊富になった二十世紀初頭からの気温と放射の変化について考察した。その結果次の事が判った。気温変化は温室効果ガスとエアロゾールとの微妙なバランスとその崩れによって形成されてきた。そしてエアロゾールの直接効果と間接効果はほぼ等しい。この結果はある程度将来の温度変化の可能性をも暗示する。もしエアロゾールの増加率が上がり全天太陽放射の減少率が長波放射の上昇率の $2.5\text{Wm}^2/\text{Decade}$ に近づいたり、また追い越す事が起これば、昇温傾向は止まるかあるいは寒冷化に転ずる事になる。長い時間を考えると大気滞留時間の圧倒的に長い温室効果ガスが滞留時間の短いエアロゾールの影響を凌駕するはずである[14]。

表1 全天太陽放射，長波の大気放射，全放射，気温の各変化と気温の放射変化に対する感度.

	全天太陽放射 S [Wm ⁻² /Decade]	長波の大気放射 L [Wm ⁻² /Decade]	全放射 R [Wm ⁻² /Decade]	気温 T [K/Decade]	気温の放射変化 に対する感度 T/R [K/Wm ⁻²]
1955~1985	-2.5	1	-1.5	-0.09	0.06
1986~2005	4.1	2.5	6.6	0.35	0.053

参考文献

- [1] 浅井富雄, 気候変動, 東京堂 (1988) 202.
- [2] Assmann, R., : Das Aspirations-Psychrometer. Ein Apparat zur Bestimmung der wahren Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Königl. Preuss. Meteorol. Inst., Berlin, **Bd. 1, 5** (1892) 270.
- [3] Kopp, G., Lawrence, G., and Rottman, G., The Total Irradiance Monitor (TIM), scientific results, *Solar Phys.*, **230** (2005) 129–139.
- [4] Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Locarnini, R. A., Garcia, H. E., and Mishonov, A. V., Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L07608, doi:10.1029/2008GL037155, (2009).
- [5] Fourier, J.-B., *Théorie analytique de la chaleur*, F. Didot, Paris, (1822) 476.
- [6] Tyndall, J., On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connection of radiation, absorption, and conduction, *Philosophical Magazine*, **22** (1861) 169-194, 273-285.
- [7] Arrhenius, S., On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine*, **41** (1896) 237-276.
- [8] IPCC, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment [Houghton, J.T., G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, (1990) 365.
- [9] IPCC, Climate Change 15: The Science of Climate Change [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, (1996) 572.
- [10] Loeb, N. G., Lyman, J. M., Johnson, G. C., Allan, R. P., Doelling, D. R., Wong, T., Soden, B. J., and Stephens, G. L., Observed changes in top-of-the-atmosphere radiation and upper-ocean heating consistent within uncertainty. *Nat. Geosci.*, **5** (2012) 110–113.
- [11] Ohmura, A. and Gilgen, H., Re-evaluation of the global energy balance. *Geophys. Monogr.*, **75, IUGG**, **15** (1993) 93-110.
- [12] Houghton, J.T., *Global Warming, the Complete Briefing*. 3rd edition, Cambridge University Press, 351 (2004).
- [13] Harries, J.E., Brindley, E., Sagoo, P.J., Bantges, R.J., Increases in greenhouse forcing inferred from the outgoing longwave radiation spectra of the Earth in 1970 and 1997. *Nature*, **410** (2001) 355-357.
- [14] Ohmura, A., Observed decadal variations in surface solar radiation and their causes. *J. Geophys. Res.* 114 (D00D13); doi:10.1029/2008JD011290 (2009).

地球温暖化のハイエイタスが自然変動によるものならば

人為起源の温暖化の将来予測は過大評価となる

Warming Hiatus is Internal Origin, then Global Warming Prediction is Overestimated

田中 博 (筑波大学)

Hiroshi L. TANAKA (University of Tsukuba)

e-mail: tanaka@ccs.tsukuba.ac.jp

1. 地球温暖化のハイエイタス問題

地球温暖化に占める自然変動の影響を、我々は過小評価していないか。100年後の人為起源の温暖化予測は過大評価されているのではないか。これは著者が長年主張し続けてきたことである[1, 2]。大気には、海洋や陸面との相互作用により10~100年スケールで変動する自然変動(内部変動)がある。二酸化炭素の増大などの人為起源による温暖化の他に、太陽放射の変動や火山噴火などの外的要因による気候変動があり、これは自然変動と定義される。さらに、自然変動にはこれらの外的要因が一定でも、流体の非線形的振る舞いの中で「ゆらぎ」として生じる内部変動が含まれる。大気海洋陸面相互作用によってシステムの内部変動として生じる現象には、10~100年スケールで変動する成分も十分に含まれる。さらに、極域の

氷床の拡大・縮小や植生の変化を含めると、さらに長い内部変動が起こり得る。

気候予測モデルでは、過去の気温変化の再現および将来の温暖化予測に関し、内部変動の幅を平均値の周りの振れ幅としてグレーゾーンで表現し、その幅を大きく超える温暖化が人為起源で生じていることを根拠に、温暖化の危機を主張してきた(図1)。この内部変動の幅を観測から推定することは困難であることから、外部要因を固定した気候モデルの1000年ランなどの変動幅や、アンサンブル予測の実験結果から内部変動の大きさが推定されている。同じモデルを何千年走らせても、平均気温などの時系列は長期的には平らだが、現実大気の長期変動はもっと大きいと考える。真の変動幅が分からないので、モデルの変動幅から推定するという手段は、論理的にもおかしいことは明らかである。

地球温暖化の見通しについて、最近までは温暖化トレンドの勾配は、加速度的に急勾配になり、このままでは「地球が金星ようになる」などという扇情的な言説もあった。しかし、二酸化炭素濃度が400ppmを超えて指数関数的に増加するなかで、1970年代から1990年代まで続いた加速度的な温暖化は、21世紀に入るとほとんど横ばい状態となり、最近15年間の温暖化は停滞している。これを温暖化の停滞(ハイエイタス)と呼び、その原因究明に注目が集められるようになった(図2)。IPCC報告による近未来の将来予測と観測事実とが、明瞭な不一致を示し始めたことから、温暖化研究が最近騒がしくなっている。

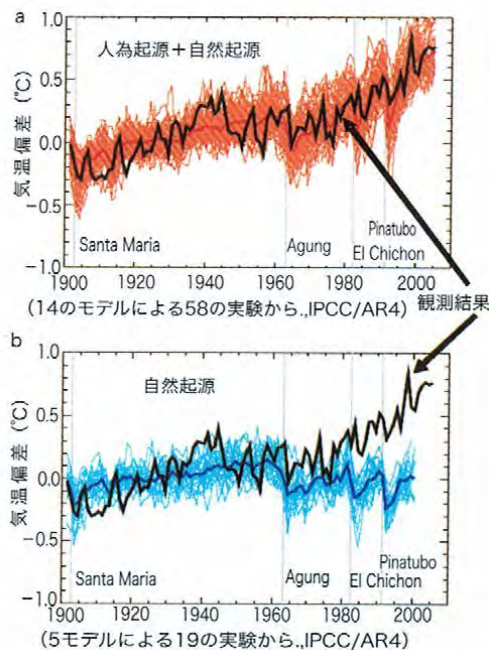


図1 IPCC報告による人為的地球温暖化の検証実験(近藤2009)[3]

2. ハイエイタスは自然変動による

将来の温暖化予測は検証できない研究であるが、温暖化が近年停滞したハイエイタスは、検証可能なサイエンスの問題である。このハイエイタスに関する解説論文[4]によると、太平洋十年規模振動(PDO)と呼ばれる海面水温の長期変動に伴って

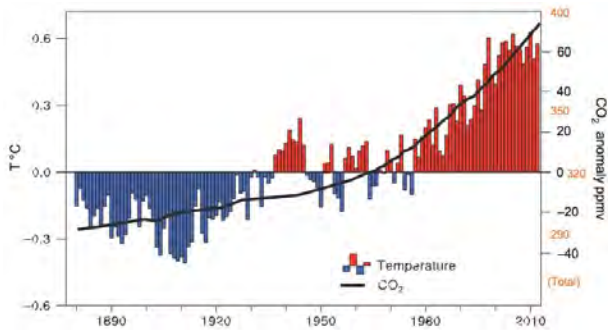


図2 地球温暖化（赤：正偏差，青：負偏差）とCO₂の増加（Trenberth ほか 2013）[4]

変化する東部赤道太平洋の低温偏差がハイエイタスの原因と考えられている。その海面水温偏差のパターンは、ラニーニャのような東部赤道太平洋を中心としたくさび形の水温の負偏差と、それを取り囲む中緯度の正偏差によって特徴づけられる。一方、太平洋ではなく大西洋数十年規模振動（AMO）の方が重要であるとの研究もあり、コンセンサスは得られていない。

そんな中、Kosaka and Xie [5] はラニーニャに似たくさび形の水温の負偏差領域の変動を、観測データを用いて気候モデルに強制的に取り込むという局所的な同化実験を行ったところ、1970年代からの急激な温暖化と21世紀以降のハイエイタスが再現できたという論文を発表した（図3）。全球面積のわずか8.2%の大気下端境界条件を観測と合わせることで、全球平均気温の10年スケールの内部変動が再現できるとした。この研究では、赤道太平洋の海面水温を同化したうえで、二酸化炭素の増大による人為起源の放射強制を削除し、二酸化炭素量を1850年レベルで固定した実験も行っている。図3aは観測による温暖化（黒：Observation）と二酸化炭素の増大を取り込んだ気候モデルによる再現実験（青：HIST）、太平洋海面水温の同化実験（赤：POGA-H）の比較で、図3bは強制領域の海面温度（緑）、温室効果の放射強制を1850年に固定した同化実験（赤：POGA-C）の比較である。観測では20世紀後半に急激な温暖化が起り、21世紀にはいるとその温暖化が止まっているが、HISTでは二酸化炭素の増大により温暖化が継続している。IPCC報告にあるほぼすべての気候予測は、このHISTと同じ予測になっている。ところが、実際には1998年以降の気温は横ば

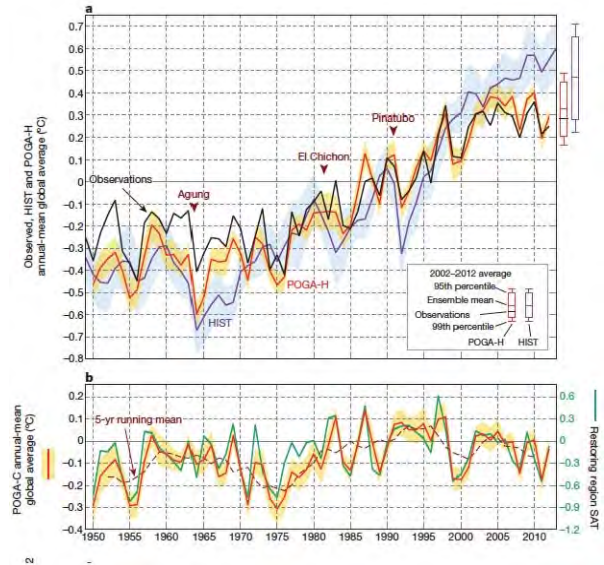


図3 地球温暖化を自然変動と人為起源に分離した同化実験（Kosaka ほか 2013）[5]

い状態になった。この矛盾は、海面水温の一部を同化したPOGA-Hでは解消され、ハイエイタスがモデルで再現されている。さらに、放射強制を1850年に固定した図3bのPOGA-Cでは、1970年～1998年までに温暖化が0.4℃進み、その後は負の偏差傾向を示している。このPOGA-Cで示された10年スケールの気温変動は、大気海洋結合系による内部変動である。このことから、POGA-Hで再現されたハイエイタスは、内部変動が原因であると結論付けている。

この論文をさらに発展させたWatanabe ほか[6]では、海面水温を同化する代わりに、熱帯太平洋の貿易風の強度変化をモデルに同化することで、1970年代からの急激な温暖化と21世紀以降のハイエイタスが内部変動として再現できるという論文を発表した。この実験においても、1970年から1990年までの内部変動は温暖化を加速する正の値を示し、21世紀に負の偏差傾向に転じている。これらの実験的研究により、過去15年間の温暖化の停滞は、大気海洋結合システムの内部変動によって生じたことが示唆された。そして、内部変動による長期的な気温変化を人為起源の温暖化と分離した結果を詳細に比較することで、1980年代、1990年代、2000年代の温暖化のそれぞれ47%、38%、27%が、内部変動によるものであると結論付けている。

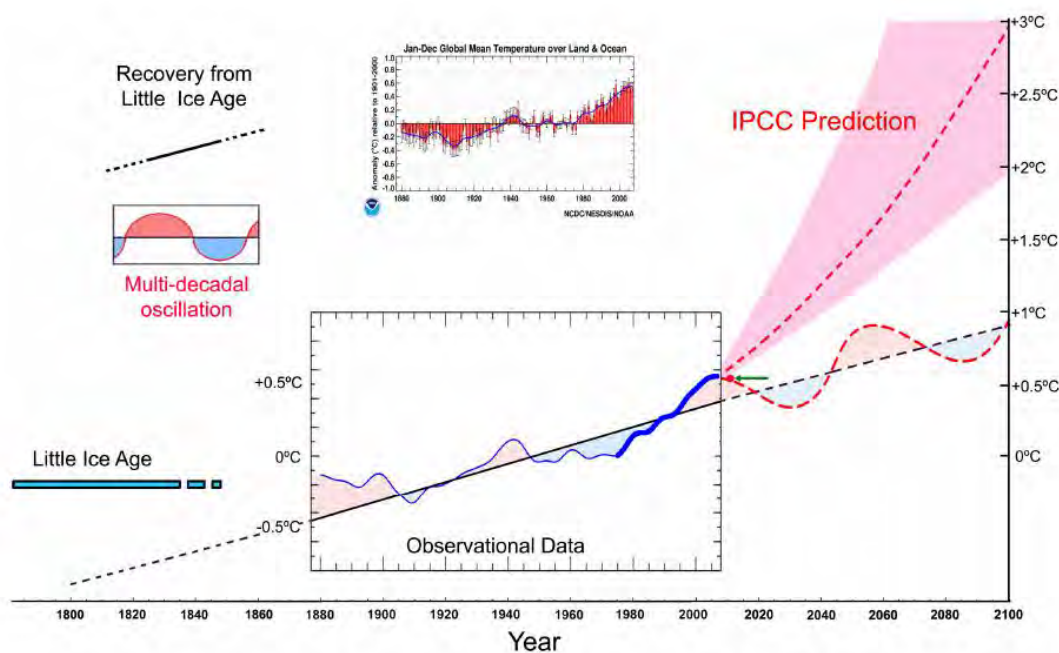


図4 自然変動を考慮した地球温暖化予測の例 (Akasofu 2010) [7].

3. 温暖化の将来予測は過大評価されている

これらの研究は、これまでの IPCC 報告の流れからすると、驚くべき論文である。なぜならば、これまでは、IPCC 報告にある将来の気候予測は、極めて信頼性の高い、いわば絶対的なものであり、一部でも異論を唱える研究者はことごとく懐疑論者扱いされてきた中で、IPCC 報告の執筆者グループが、自ら IPCC 報告の根幹を覆すような研究発表を競うように開始しているからである。巷には懐疑論者バスターと称するグループまで登場し、これまでに懐疑論者のリストが作成されたりしたが、IPCC 報告の執筆者グループによる研究は正当なものとして受け止められ、新たな懐疑論者の出現であると言うものはいない。

これらの研究で重要なことは、21 世紀の温暖化ハイエイタスが内部変動によるものだとすると、当然の帰結として 1970 年代から 1990 年代までの急激な温暖化の約半分が内部変動によるものである、という推測が成り立つ点である。計算では、Kosaka and Xie [5]による 20 世紀後半に観測された内部変動による温暖化は、上述のように 0.4℃であるのに対し、この期間に観測された温暖化が 0.68℃となるため、20 世紀後半の急激な温暖化の半分以上が内部変動で説明されてしまう。

これまでの IPCC 報告において、この部分は人

為起源の二酸化炭素の増大が原因で間違いない、と言われ続けてきたものであり、内部変動では説明できないとされた根幹部分である。過去に対する温暖化再現実験で、二酸化炭素の増加を入れたモデルと入れないモデルを比較し、二酸化炭素を一定としたモデルでは温暖化が生じないが、二酸化炭素の増加を入れることで 20 世紀後半の温暖化がピッタリ再現できる (図 1)。この事を根拠にモデルの有用性を検証し、将来予測ツールとしての信頼性の根拠として来た。この IPCC 報告の根幹ともいえる部分が、今、IPCC 執筆者グループにより覆されようとしているのである。

ただし、これらの研究では、人為起源の温暖化は引き続き深刻な問題であり、内部変動はいずれ温暖化加速に転じると予測している。著者もその考えに異論はないし、検証もできないが、20 世紀後半の急激な温暖化の部分が、二酸化炭素の増大でピッタリ再現されていることに著者はこれまで異議を唱えてきた。モデル開発とは、過去に観測された事実を忠実に再現できるようにモデルを改良またはチューニングすることなので、20 世紀後半の急激な温暖化の半分が内部変動によるものであり、人為的な温暖化の割合はかつての値の半分となれば、研究者達はモデル開発の名のもとにその部分をチューニングするであろう。図 4 のよう

に、自然変動を考慮した結果、温暖化の速度が半分になれば、現在言われているような100年後の人為起源の温暖化予測は過大評価されているという結論になる。赤祖父氏が主張したように[7]、もし、100年後の温暖化予測が1.0°C程度ということになれば、費用対効果を考慮すると、対処すべき政策も相当異なるものになる。不確かな将来予測に、何兆円もの血税を本当に払うのかという問題になる。

4. 温暖化研究における科学者の役割

温暖化研究における科学者の役割として、学会などの場には「中立公正な立場で温暖化の真相を議論する空気が必要」であり、その結果、「科学的に正しくない温暖化懐疑論」とともに「脅威をあおる温暖化脅威論」も淘汰されるべきである。しかし、これまでは、たとえ検証可能な真実でも、IPCC 報告の一部に疑念をいだくような主張は、不健全な懐疑論者と同じ扱いにされてきた。学界内の温暖化脅威論者には、著者の知る限り健全な研究者が多いが、ポリティカルな理由で懐疑派を許さない脅威論者もいる。「サイエンスの議論は終わりだ。もはや議論から行動へ。今すぐ行動しないととんでもないことになる。」「防衛原則により完全な理解を待つまでもなく人類の危機であることは明らかだ。」「ノーベル賞の IPCC グループには2500人の科学者がいる。絶対に間違いはない。」といった主張が大勢を占めていた。サイエンスの議論はまだ終わっていない。検証可能な温暖化ハイエイタス問題が、温暖化研究の流れを、今大きく変えようとしている。IPCC 絶対主義に終止符を打ち、温暖化についての科学的な議論が自由になるようにとよい。

最後に、マスコミの一部は竜巻や集中豪雨の発生を地球温暖化と結び付けようとするが、ひとつひとつの事例についていえば、私の知る多くの気象学者

は否定的である。背景には温暖化の可能性がある、という説明が加わることが多いが、限りなく小さな可能性に対しても用いられることがある。背景に温暖化は関係していない可能性がある、という表現と同等であるとすれば、言っても意味のない世論誘導目的の説明になる。ヒートアイランドによる都市の暑さも、背景には地球温暖化がある、という学者が多いが、自然変動による温暖化の空間分布をみれば、日本領域程度の背景温度が、全球平均で定義される地球温暖化と必ずしも一致しないことは明白である。いたずらに危機感をあおる行為をマスコミは止めるべきである。国民を正しく怖がらせるのが、健全なマスコミの役割と考える。

参考文献

- [1] 大橋正弘・田中博, 地球温暖化予測モデルに見られる北極振動の解析的研究, 天気, **56** (2009)743-753.
- [2] 田中博, 北極振動と地球温暖化 - 地球温暖化が示す不都合な真実, てんきすと, (2010) 66号, 67号.
- [3] 近藤洋樹, 地球温暖化予測の最前線, 成山堂 (2009).
- [4] Trenberth, K.E. and J.T. Fasullo, Earth's Future, **32** (2013).
- [5] Kosaka, Y. and S.-P. Xie, Nature, **501** (2013) 403-407.
- [6] Watanabe, M., ほか, Nature climate change, 31 Aug. (2014).
- [7] Akasofu, S. I., Scientific Research, Open Access (2010) 2, 11, 1211-1224.
<http://file.scirp.org/Html/3217.html>

急速な北極圏の温暖化とその影響 *Rapid Warming in the Arctic and its Influences*

榎本 浩之 (国立極地研究所)

Hiroyuki ENOMOTO (National Institute of Polar Research)

e-mail: enomoto.hiroyuki@nipr.ac.jp

1. はじめに

北極域では急速な昇温、海氷域の顕著な減少傾向が認められている。2012年9月には、北極海の夏季の海氷面積が1970年代からの衛星観測史上最少になった。北極域での顕著な気温変化はPolar Amplification (北極温暖化増幅) と呼ばれている。極域増幅を起こす原因として、気候システムの中での様々なフィードバックシステムが挙げられており、特に雪氷アルベドフィードバックの効果が大きいとされている。温暖化の影響は様々な環境に及び、それらの相互作用もあり複雑である。ここでは最近得られた知見をもとに温暖化の実態や解明のための取り組み、その影響についてまとめる。

2. 地球温暖化と北極域

2.1 IPCC 気候変動報告書

2013年9月に発表された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次報告書 (AR5) 第1作業部会報告書[1]では世界の平均気温が過去100年間で約0.68度上昇していることが述べられている。また同報告書の政策決定者向け要約では、以下のようなことがまとめられている。①気候システムの温暖化については疑う余地がない。1880~2012年において、世界平均地上気温は0.85[0.65~1.06]°C上昇している。②1971~2010年において、海洋の上部(0~700m)で水温が上昇していることはほぼ確実である。③1992~2005年において、3000m以深の海洋深層で水温が上昇している可能性が高い。④海洋の温暖化は、気候システムに蓄えられたエネルギーの変化の大部分を占め、1971~2010年の期間ではその90%以上を占めている。⑤過去20年にわたり、グリーンランド及び南極の氷床の質量は減少しており、氷河はほぼ世界中で縮小し続けている。また、北極の海氷面積及び北半球の春季の積雪面積は減少し続けている。⑥19世紀中頃以降の海面水位の上昇率は、それ以前の2千年間の平均的な上昇率よ

り大きかった。

2.2 北極域での変化

北極域に表れている影響としては第4次報告書でも指摘されたが、北極域は地球全体の温暖化の速度より早く温暖化が進んでいる。また今後も顕著であると予測されている。顕著な影響の現れとして、北極域での海氷や氷床融解が挙げられている。

北極域の融雪面積も、融雪期終盤である6月で見た場合、2012年に積雪面積は過去最低を示している[2]。冬の積雪はむしろ増えているので、これは春季の速い融雪を意味している。陸上から海洋への淡水供給の量や時期に変化が起きている。また、地表面の加熱や乾燥、植生の活動が早く始まることも予想される。

氷床など陸上からの海洋への淡水供給は、海洋構造、海洋中への二酸化炭素取り込みなどで海洋にも様々な影響をもたらすものであり、影響は単に海水準上昇だけにとどまらない。

グリーンランドから流出する融解水は、北極域にそそぐシベリアからの大河川の年間流量に比較しても、大きな淡水供給である。この淡水供給はグリーンランド周辺の海域にでているが、それが急速に増えつつある。

3. 北極海の海氷減少

IPCC - AR5 第1作業部会報告書には、地球温暖化を示す証拠の一つとして北極域の海氷面積の顕著な減少傾向を挙げている。図1に、衛星観測が可能になった1980年代以降の北極域の海氷面積変動を示す。1980年には $7.89 \times 10^6 \text{ km}^2$ であった夏季の海氷面積が2012年には衛星観測史上最少の $3.44 \times 10^6 \text{ km}^2$ になった。1979年~2012年の34年間の衛星観測から夏季の海氷面積に10年あたり9.4~13.6%という大きな減少傾向が確認されている。図1から10年ごとの減少の割合が増えていることがわかる。

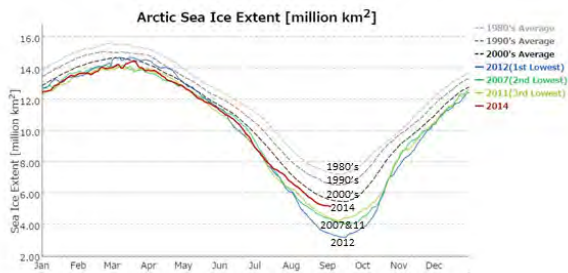


図 1 北極海の海水面積の長期変動（データ：JAXA 及び NSIDC, 表示 Arctic Data archive System: ADS[3]) 海水分布は観測地域（衛星ピクセルなど）に占める海水の被覆率である海水密度度 sea ice concentration (%) で示される。海水密度度が 20% を超えると海水域 sea ice area と呼ばれる。それを積算したものが sea ice extent [km²]である。

図 2 には最少海水面積を記録した 2012 年 9 月 16 日の海水分布を示す。比較のため同日付の 1980 年代の平均分布域を実線で書き込んでいる。海水面積が半分になっていることが分かる。特にアラスカ、シベリア沖での減少が顕著である。海水が消えて拡大した海水面では、海水温が低温となっているが、今後この水面での日射の吸収や大気との接触による運動量やガス交換などにより、物理・科学的に様々な変化が起きることが想定され、さらに生態系にも影響することが予想される。

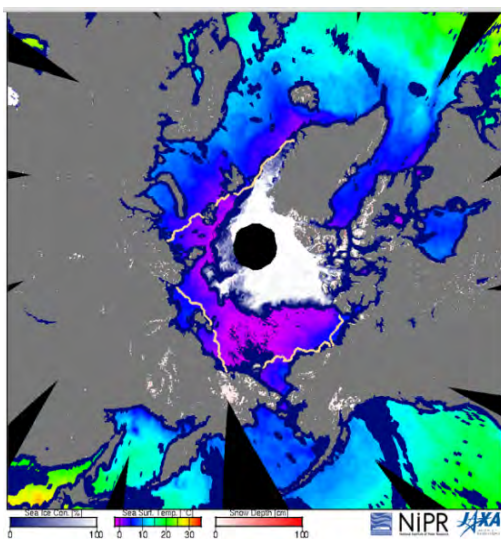


図 2 最少海水面積を記録した 2012 年 9 月 16 日の海水分布（海水密度度 [%]）および 1980 年代の同日付の海水縁（実線）、海水温分布 [°C] および積雪深 [cm]（データ：JAXA 及び NSIDC, 表示 Arctic Data archive System: ADS）[3]

4. 北極温暖化のシステム

4.1 Polar Amplification

北極域に於ける強い温暖化の特徴は Polar Amplification（北極温暖化増幅）とよばれている。この用語は中緯度に比べ変化が北極域では大きく現れることを指し、中緯度からの輸送によって生まれるものや、北極域の内部で強化されるものがある。北極域で起こっている温暖化は温室効果気体の増加によると考えられるが、北極域では中低緯度域に比べ、気温の上昇幅が大きく、増幅効果をもっていることが分かっている（北極温暖化増幅）。しかし、北極域での温暖化増幅のメカニズムは単純ではなく大気、海洋、雪氷、陸面、生態系の様々な要素が複雑に絡み合っている。

4.2 フィードバック

北極温暖化増幅の発生メカニズムとしては、雪氷の反射率に起因するアイス・アルベド・フィードバックの寄与が大きい。雪や氷は 30%～90% 程度の高い反射率を持っており、雲と共に地球全体の反射率（アルベド）を高める役割を果たしている。海面のアルベドは地球表面でアルベドの低いものの代表であり、雪氷は高いものの代表である。この両者の入れ替わりの影響は大きい。

一旦、温暖化で雪氷域が融解すると、海面や地面の露出によりアルベドが低下し、地球表面における太陽放射エネルギーの吸収量が増加し温度上昇、そしてさらに雪氷面の減少ということが起こり、温暖化が加速することになる。この現象をアイス・アルベド・フィードバックという。フィードバックには変化を促進するものと抑制するものがあり、前者は正のフィードバック、後者は負のフィードバックと言われる。アイス・アルベド・フィードバックは正のフィードバックである。

このシステムは雪氷と日射が同時にある時期に起きるため、春の陸域での融雪期が、また夏季の北極海の海水融解期において効果が大きい。

気候システムの中のフィードバックには様々なものが知られている。気温上昇により蒸発が増え、雲が増加すると、地表面では日射による加熱を抑えられ気温低下する。これは負のフィードバックである。秋に効果的であることがわかっている[4]。フィードバックの影響は季節によりかわり、また将来的にも変わって行くことが考えられる [5]。

気候システムにおける雪氷の機能は、高いアル

ベドで日射による加熱を抑えるとともに、結氷・融解の際の大きな潜熱交換により温度変化を緩和させる効果がある。夏季の北極海の表面付近の気温は、海氷がある地域ではほぼ 0°C を保っている。地表面への熱は海氷を融かすのに使われており、北極海の広域で融解水池（メルトポンド）が確認される。

5. 氷床融解の加速

2012 年にはグリーンランド氷床のほぼ全域に融解域が広がった。氷床の縮小は融解だけでなく、氷床が海に直接崩壊するカービングの影響が大きく影響すると言われている。この崩壊を起こす氷河の流動については、氷床表面での融解水が氷床と基盤の岩盤との間に浸透し、それが潤滑剤となって氷河流動を加速させると言われている。

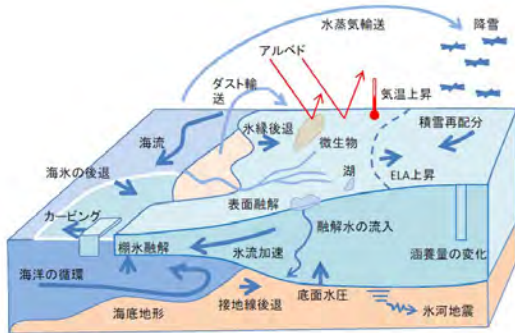


図3 氷床融解と氷床変動システム [6]

氷河の加速は下流域で大きい。このため下流に向かうにつれて氷河の厚さの減少が大きくなる。グリーンランドや北極圏のスバルバル諸島、ロシアのノバヤゼムリヤ島などの氷河は海面まで達しているものが多い。海氷が薄くなることにより、海に接している部分は浮力により浮き出す。これはさらなる氷河の不安定化と加速をもたらす。氷河末端部は後退し、海水はさらに上流に入っていく。海洋に接した氷河が多い北極圏では、単なる融解でなく、このような動力学的な不安定化が問題になっている。氷床表面の融解という現象以外に、融解水、海洋と関係した多数の小さな氷河での氷の崩壊と流出の把握に注目すべきである。

6. 温暖化した北極海の海水と気象

6.1 Great Arctic Cyclone

北極海の海氷状況については海洋、気象そして

海氷そのものの特性の変化が起きている。海氷面積が最小になる時期は例年 9 月中旬である、しかし 2012 年の夏季の海氷面積の減少は 8 月上旬の巨大低気圧（図 4）により一気に海氷の三分の一が消失することにより、急速に進んだ（図 5）。

このような北極海の海氷状況が、新しい海氷・海洋・大気の変化特性を変えつつある。2012 年 8 月に北極海で発達した低気圧は観測史上最大、最強、最長の持続時間を持つもので Great Arctic Cyclone と呼ばれている[7]。強力な低気圧が発生する状況になった北極海における、海上気象、海氷の移動は、北極海の気候研究だけでなく、今後予想される北極海の船舶航行にとっても注意すべき点である[5]。

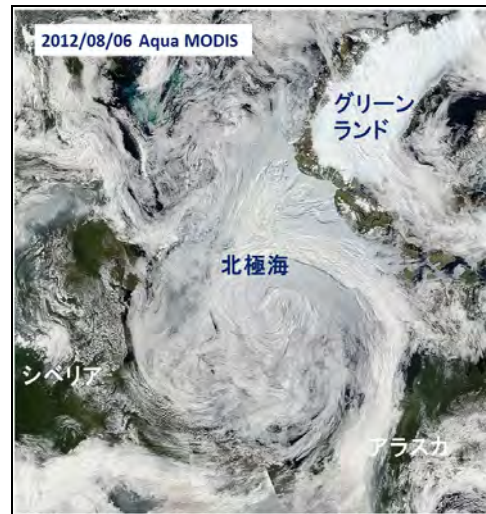


図4 北極海を覆う巨大な低気圧の雲の渦 (2012.8.6 データ：MODIS)

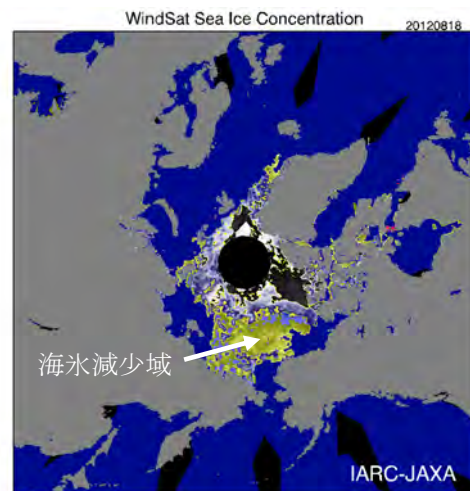


図5 2012 年 8 月低気圧通過時の北極海の海氷水の急な減少(2012 年 8 月 1 日～6 日間の変化)

6.2 海水特性の変化

2012年8月の海氷急減に対しては、低気圧による海氷の破壊、融解が直接的な原因であるが、それ以前に温暖化により海氷の厚さ・強度自体が衰えていたことも原因として重要である。それまでの最低記録が作られた2007年に、厚い多年氷が大量に大西洋に流出しており、それ以降北極海の手氷は厚い多年氷の少ない状態になっている。図6により厚い海氷がグリーンランド北方にだけ偏在していることがわかる[8]。

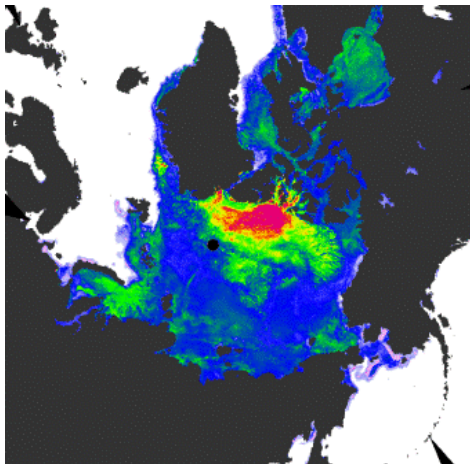


図6 北極海の手氷厚分布[8]。厚い海氷域を赤色で示す。

海氷面積の減少傾向とともに、その年々変動の振幅や地域差が大きいことも観察される。2012年にそれまでの最少面積であった2007年夏季の海氷域面積の最低値が更新されたが、それらの翌年の夏の年最少面積は回復している。しかし、面積的には回復しても、多年海氷域が消失している。

北極海では厚い多年氷が少なくなっておりオホーツク海やベーリング海のような季節海氷域化してきている。北極海の手氷の特徴であった多年氷が10年あたり $13.5 \pm 2.5 \sim 14.7 \pm 2.0\%$ の減少を示している[1]。

季節海氷域では年による差や地域による面積変動が大きい。また薄い氷は風の影響を受けやすく移動も大きくなる。そのため、温度だけでなく風の影響によっても年々変動や分布地域、春から夏季の移動も大きくなる。海氷の漂流速度も1978～2007年の間で、冬季については10年あたり $17 \pm 4.5\%$ 、夏季については10年あたり $8.5 \pm 2.0\%$ となっており、多年氷が減って薄くなった北極海の手

氷は移動しやすい状態になっている[1]。薄くなり、移動速度も速くなった海氷は、低気圧等の擾乱により急変しやすい状態になっていると言える。

海氷の減少した海域では、大気に接する海洋面積の増加と波浪による大気—海洋間のガス交換が促進される。これが二酸化炭素の海洋への融解と酸性化をもたらす。IPCC AR5[1]によると沿岸域では海氷のない状態が3か月間続く。東シベリアのラプテフ海では海洋からのメタン放出が観測されている。地学的現象と近年の温暖化の影響の分離、また今後の加速の危惧などが議論されている。

6.3 冬季の手氷変化の影響

夏季の手氷状態に関して、多くの将来予測はこれまでに見られた海氷減少傾向が将来も持続することを示し、2050年には夏季の手氷域が消滅することを予測している結果もある。夏季の手氷状態には、長期的には海洋の変化が影響しているが、年度毎の変化はその年の春～夏の気象状況に大きく影響される。さらに、春季以降の手氷減少のより正確な予測には、その前の冬季の間にどれだけ海氷が成長しているかの情報が重要である[9]。凍結による海氷成長と海氷の特徴である活発な衝突・分離などの動態の情報が重要とされる。

海氷は夏季だけでなく冬季も減少している。冬には、北極海では大陸沿岸まで結氷するため、見かけ上面積に差が出にくい。しかし、ベーリング海やオホーツク海など周辺海域では減少傾向が現れており、北極海においてもバレンツ海での減少が観察されている(図7)。

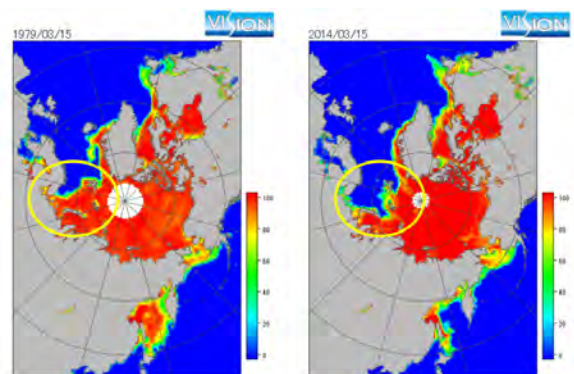


図7 バレンツ海の手氷減少。多かった時期と近年の減少の代表的な例として、1979年と2014年の冬季の手氷分布(海氷密度 [%])を示す

冬季のシベリアの降雪増加も報告されているが、

北極海での海水減少域からの蒸発の増加が原因として考えられている[10]. また最近の冬期の大気循環の研究から、この地域の海水減少が大気の流れを変え日本の冬の大雪に関係することがわかっている[11] [12]. このような北極域の高緯度と中緯度の気象をつなぐ取組は日本や欧米などでも熱心に取り組まれている. 北極の自然が高緯度に閉じたものでなく広く北半球に及ぶものであるとして関心が高まっている.

北極変動・変化が日本の気候・気象に与える影響

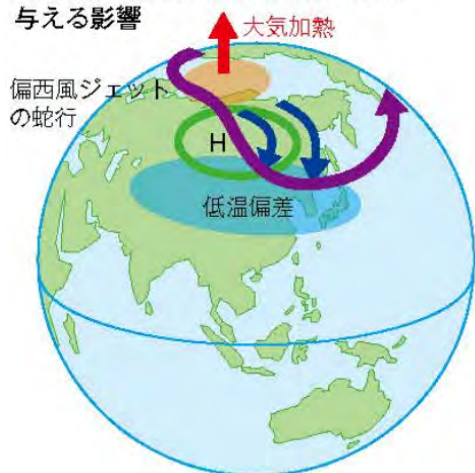


図8 北極海から中緯度の気象への影響[6]

7. おわりに：北極の観測・理解・対応

日本の北極環境研究者の集まりである北極環境研究コンソーシアム (JCAR) では、2014年9月に今後10年の研究課題を「北極環境研究の長期構想」としてまとめた[13]. このなかでも北極の気候システムの多様性と複雑な相互作用を図9にまとめている. 北極で起きている各現象、連鎖、相互作用、フィードバックといった調査が望まれている.

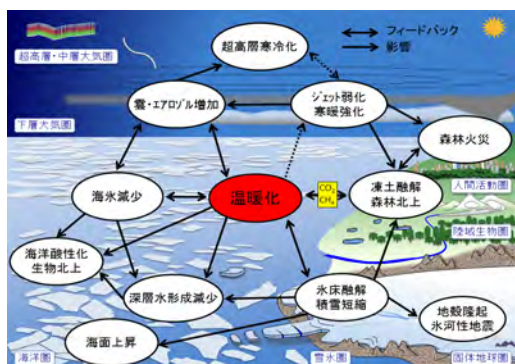


図9 北極の気候の相互作用システム (JCAR 長期研究構想より) [14]

北極の気候変化は、さまざまな環境、気象などに影響を及ぼしているが、その社会影響と対応という問題も注目されている. 急変する北極の気候の理解や対応は、北極周辺の国の取組だけでは対応しきれないものになっている. 温暖化し、海水が減ることにより北極海での航路利用や海底資源開発、漁業など経済活動が期待されている. 一方で環境影響、安全、北極域の文化や生活の変化に関する懸念も大きい. 北極の気候変化の研究成果は、産業、国際関係の問題につながっているため、自然科学と社会科学の協力は課題になっている.

謝辞：本研究活動および議論は、GRENE 北極気候変動プロジェクトの支援を受けている.

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC, edited by T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. and New York, NY, USA, 1535 pp. (2013).
- [2] Derksen, C. and R. Brown. 2012a. Spring snow cover extent reductions in the 2008-2012 period exceeding climate model projections. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2012GL053387 (2012).
- [3] 榎本浩之, Alimasi, N., 照井健志, 杉村 剛, 矢吹裕伯, GRENE 北極気候変動研究事業の戦略研究目標と衛星観測への期待, 計測と制御, VOL. 53 (2014).
- [4] Yoshimori, M., A. Abe-Ouchi, M. Watanabe, A. Oka, and T. Ogura, Robust seasonality of Arctic warming processes in two different versions of MIROC GCM, *J. Climate*, 27, 6358-6375, doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00086.1. (2014).
- [5] 榎本浩之, N. Alimasi, 柴田啓貴, 田中康弘, 館山一孝, 高橋修平, 北極海の海水変動の季節性と変調および環北極域の環境への影響, *環境科学会誌*, 25(6), 469-476 (2012).

- [6] http://www.nipr.ac.jp/grene/doc/grene_J2.pdf (2011)
- [7] Simmonds, I. and I. Rudeva, The great Arctic cyclone of August (2012), *Geophysical Research Letter*, VOL. 39, L23709, doi:10.1029/2012GL054259 (2012).
- [8] Krishfield, R. A., A. Proshutinsky, K. Tateyama, W. J. Williams, E. C. Carmack, F. A. McLaughlin and M.-L. Timmermans, Deterioration of perennial sea ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle, *Jour. Geophys. Res.*, 10.1002/2013JC008999, 1271-1305 (2014).
- [9] Kimura, N., A. Nishimura, Y. Tanaka and H. Yamaguchi, Influence of winter sea ice motion on summer ice cover in the Arctic, *Polar Research*, 32, 20193 (2013).
- [10] Park, H, Walsh, J.E., Kim, Y, Nakai, T, Ohata, T., The role of declining, Arctic sea ice in recent decreasing terrestrial Arctic snow depths. *Polar Sci* 7:174-187. doi:10.1016/j.polar.2012.10.002 (2013).
- [11] Inoue, J., M. E. Hori, and K. Takaya, The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track and emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly, *J. Clim.*, 25, 2561–2568 (2012).
- [12] Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue, and M. Kimoto, Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in the past decades, *nature geoscience*, doi:10.1038/ngeo2277 (2014).
- [13] <http://www.jcar.org/longterm/> JCAR (2014).
-

東アジアにおける PM_{2.5} の広域汚染

Regional air pollution of PM_{2.5} in East Asia

大原 利眞 (国立環境研究所)

Toshimasa OHARA (National Institute for Environmental Studies)

e-mail: tohara@nies.go.jp

1. はじめに

中国をはじめとする東アジアでは、急速な経済成長に伴って燃料消費量が増大し、1980年代後半から窒素酸化物 (NO_x) や二酸化硫黄 (SO₂)、揮発性有機化合物 (VOC) などの大気汚染物質の排出量が急増している。その結果、微小粒子状物質 (PM_{2.5}) やオゾンなどによる大気汚染が発生し、人の健康や食糧生産、生態系に大きな影響を与えている。2013年1月に発生した中国北東部における激甚な PM_{2.5} 汚染は記憶に新しい。中国からの大気汚染物質は、北東アジアで広域大気汚染を引き起こし、風下に位置する日本にも大気汚染物質が流れ込んでいる。また、東アジアで発生した PM_{2.5} やオゾンが地球規模で大気質に大きな影響を及ぼしている[1]。更に、このような広域大気汚染は地域気候システムに複雑な変化を引き起こす[2]。

本稿では、東アジアにおける PM_{2.5} による広域大気汚染の現況とその原因、日本への越境汚染の影響について解説する。

2. 東アジアにおける PM_{2.5} 原因物質の増加

2.1 PM_{2.5} の原因物質

PM_{2.5} は、大気中に浮遊している粒子状物質のうち、直径が 2.5μm 以下のものと定義され、発生源から直接排出される一次粒子と大気中の反応によって生じる二次粒子に分類される。一次粒子には、燃焼過程において発生する人為起源粒子と土壌 (黄砂や土壌の巻上げ) や海塩などの自然起源粒子があり、前者は元素状炭素や有機粒子などの成分で構成されている。一方、二次粒子は、硫黄酸化物、窒素酸化物、アンモニア、揮発性有機化合物などのガスが、環境大気中での化学反応により蒸気圧の低い物質に変化して粒子化し、その後、凝縮及び凝集を繰り返してより大きな粒子に成長したものである。それぞれのガスは、硫酸塩、硝酸塩、アンモニウム塩、

有機粒子などの PM_{2.5} 成分に化学変化する。

2.2 原因物質排出量の経年変化

図1は、2000-2008年に東アジア (北東アジアと東南アジア) の人為起源発生源から排出された PM_{2.5} 原因物質 (SO₂, NO_x, VOC, 及び PM_{2.5} の一次粒子) の経年変化を示す[3]。東アジアの SO₂ 排出量のうち中国の排出量は 85% (2008年時点) を占める。経年的には、2000-2006年の間に 45% 増加したが、2006年以降は中国における排出量の変化を反映して減少している。中国では、1980年以降、火力発電所や工場等からの SO₂ 排出量が増加し続けたが、第11次五か年計画 (2006~2010年; 以下、11次五計) が開始した2006年以降、発電所等への排煙脱硫装置の普及等の対策が急速に進み、排出総量が減少に転じた。火力発電所の脱硫装置は2000年にはほとんどなかったが、その後、設置が徐々に進み、2006年以降に急速に普及した結果、2010年の普及率は 86% に達している。この普及には、11次五計において、2010年の SO₂ 排出量を 2005年よりも 10%削減することを目標に掲げたことが大きく影響している。なお、2011年からの第12次五か年計画 (2011~2015年; 以下、12次五計) でも、8%の削減目標が設定されている。

NO_x 排出量については、2000-2008年の増加率は SO₂ の場合よりも大きく、東アジアで 1.6 倍以上増加している。特に中国では、エネルギー消費量の増加に伴いほぼ倍増している。中国の 2008年における NO_x 排出量の発生源種類別の内訳は、火力発電所が最も多くて 40%、次に工場 24%、自動車などの輸送 21% である。また、火力発電所と工場のほとんどは石炭燃焼に伴う排出であり全体で 60% を占める。このような中国の排出量は、新設発電所への低 NO_x ボイラーの設置や自動車排出ガス規制の強化などによって近年増加率がやや小さくなっている。しかし、発電所や工場への脱硝

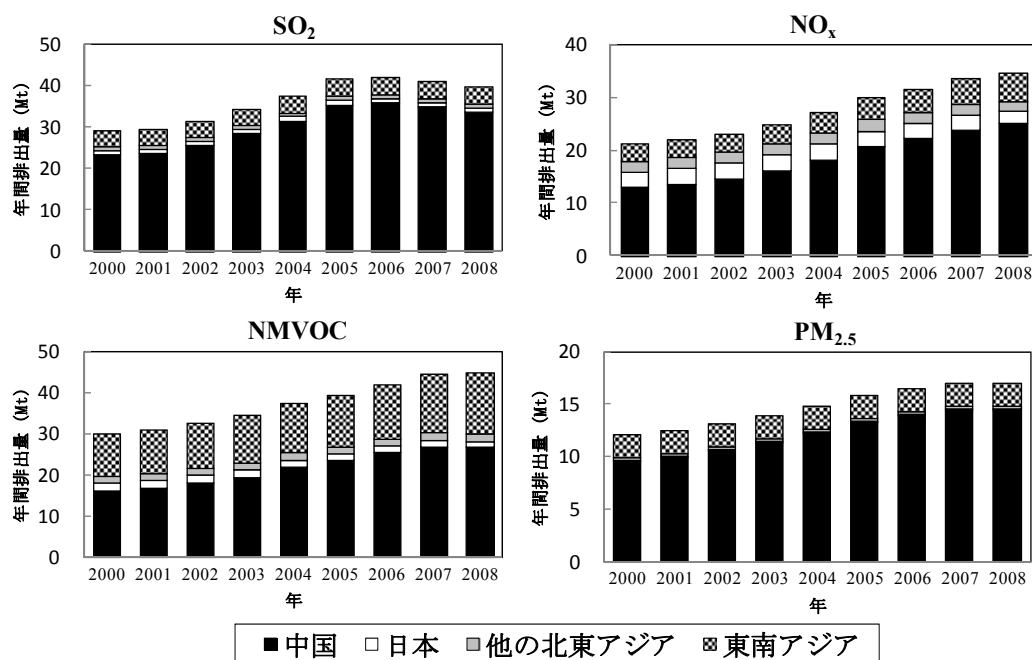


図1 東アジアにおける大気汚染物質排出量の2000～2008年における経年変化。

装置の導入がそれほど進んでないこと、燃料消費量や自動車台数が急増していること等のため、SO₂とは異なり排出量が増加し続けている。なお、12次五計では10%の削減目標が初めて設定され、現在、多様な対策が進められている。

東アジアのVOC排出量は2000～2008年に1.5倍に増加している。VOCは様々な発生源から排出される。中国における発生源は、自動車等の輸送29%、溶剤使用24%、塗装と家庭（バイオマス燃料の燃焼による排出が多い）が各々14%となっており、NO_xやSO₂とは異なり、溶剤や塗料の使用などによる排出が半分程度を占める。

また、発生源から直接排出されるPM_{2.5}の東アジアでの排出量も2000～2008年に1.4倍に増加している。中国からの排出量は東アジア全体の84%を占める。PM_{2.5}もVOCと同様に、様々な発生源から排出される。中国における発生源はセメントやレンガの製造等の工業プロセスからの排出が約半分に達し、その他には、家庭におけるバイオマス燃料や石炭燃焼が30%、石炭火力発電所が12%を占めるのに対して、自動車や工場などの燃料燃焼起源の排出は少ない。このようにPM_{2.5}の排出構造は、SO₂やNO_xとは大きく異なる。

以上のように、東アジア、中でも中国では、多様な発生源から大気汚染物質が排出され、急速な

経済成長に伴って、その排出量が増加している。しかし、SO₂のように減少し始めている物質もあり、今後の動向が注目される。

3. 中国におけるPM_{2.5}汚染

3.1 PM_{2.5}汚染の概況

前章で示したように、中国における大気汚染物質の排出量は、2000年以降、著しく増加し、PM_{2.5}などによる深刻な大気汚染が発生している。中国のPM_{2.5}汚染の概況は以下のとおりである[4]。

中国の74都市におけるPM_{2.5}年平均濃度（2013年）は72μg/m³であり、日本の環境基準値15μg/m³よりも5倍程度高い（図2）。特に、北京周辺・長江デルタ（上海周辺）・珠江デルタ（広州周辺）などの中国東部における大都市域で濃度が高く、それぞれ、106μg/m³、67μg/m³、47μg/m³である。一方、日本の大気常時測定局で2013年度に測定されたPM_{2.5}年平均濃度は、西日本平均で16μg/m³、東日本平均で13μg/m³である。なお、中国では冬季に濃度が高くなるが、この主因としては、冬季に物質が拡散しにくい気象条件になりやすいことや暖房用燃料使用量が増加することなどが考えられる。

PM_{2.5}の主要成分は有機粒子と無機二次粒子（硫酸塩、硝酸塩、アンモニウム塩の合計）である。中国東部におけるPM_{2.5}に占める有機粒子の割合

は15～53%、無機二次粒子の割合は40～57%である。また、北京と重慶の5地点で測定された成分構成割合は、有機粒子29～35%、元素状炭素（ディーゼル車などから排出されるスス）4～7%、硫酸塩13～20%、硝酸塩4～9%、アンモニウム塩6～9%である[5]。一方、東京の一般環境における成分構成は、有機粒子18%、元素状炭素7%、硫酸塩22%、硝酸塩10%、アンモニウム塩11%であり[6]、北京と重慶に比べると、有機粒子が少なく、無機二次粒子がやや多い。このような東京と中国における成分の違いは、発生源構造や気象条件の違いによるものと考えられる。また、中国では砂漠域の近くだけでなく、中部や南西部でも黄砂の影響を強く受けている。

3.2 2013年1月の高濃度汚染

それでは2013年1月に発生したPM_{2.5}汚染はどのような状態だったのであろうか？最近、このエピソードの実態や原因を解析した多くの論文が発表されつつある。

例えば、Huang ほか[7]によると、2013年1月に全国74都市で測定されたPM_{2.5}日平均濃度のうち、69%の日において中国の環境基準75μg/m³（この基準は日本の環境基準値35μg/m³の2倍以上）を超過し、最高濃度は772μg/m³に達した。また、北京、上海、広州、西安における2013年1月5日～25日の期間平均濃度は各々、155μg/m³、91μg/m³、69μg/m³、345μg/m³であり、図2に示した各地域の年平均濃度に比べて約1.5倍高い。また、4地点の成分構成は、有機粒子が30-50%で最も多く、次いで、硫酸塩（8-18%）、硝酸塩（7-14%）、アンモニウム塩（5-10%）、元素状炭素（2-5%）であり、二次粒子が30-77%を占め、無機と有機の二次粒子は同程度であった。なお、西安では、土壌ダスト

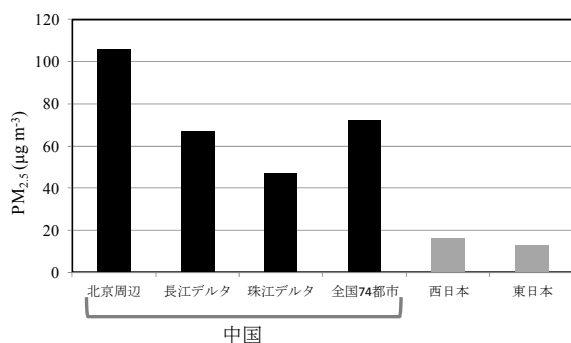


図2 中国と日本のPM_{2.5}地域別平均濃度（中国は2013年の年平均、日本は2012年度の年平均）。

（黄砂や土壌の巻き上げ）によってPM_{2.5}が高濃度になったと考えられている。

このような高濃度のPM_{2.5}が発生した主因として、汚染物質が淀みやすい気象条件であったこと、特異的な化学反応によって硫酸塩が生成された可能性があることなどが考えられている。例えば、鶴野ほか[8]は、化学輸送モデルを用いて2004～2013年における東アジア域の粒子濃度の経年変化を解析し、2013年1月は特異的にシベリア高気圧強度が弱く、中国東部で高濃度汚染の起こりやすい条件となり、PM_{2.5}の高濃度汚染が発現したことを明らかにした。また、Wang ほか[9]、He ほか[10]は、北京のPM_{2.5}高濃度時に硫酸塩が非常に増加することに着目し、その原因として、高濃度時に流れ込んでいた黄砂の表面での、SO₂ガスの不均一反応によって硫酸塩の生成が促進された可能性を指摘している。一方、Wang ほか[11]は、2013年1月14日～2月28日に中国・河南省南部の都市で測定されたPM_{2.5}をモデル解析して発生源別寄与率を推計した。その結果によれば、例えば石家荘では、家庭（38%）と工業（36%）が全体の75%を占め、その他では農業15%、交通4.2%、火力発電所0.4%と計算され、家庭起源（主にバイオマス燃焼）と農業起源（家畜や施肥から発生するアンモニアガスの粒子化による）の割合が予想以上に高いことが特徴的である（図3）。

4. 広域大気汚染とその健康影響

4.1 北東アジアにおける汚染の広がり

図4は大気シミュレーションモデル（化学輸送モデル）によって計算されたPM_{2.5}の地上濃度の季節別分布を示す。大気汚染の空間的な広がり的大小は、対象とする汚染物質の大気中での寿命

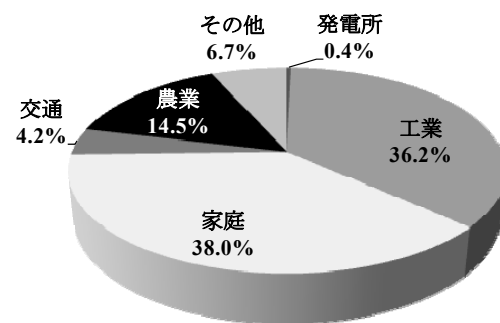


図3 2013年1～2月の中国・河南省南部におけるPM_{2.5}発生源別寄与率（Wang ほか[11]より作成）。

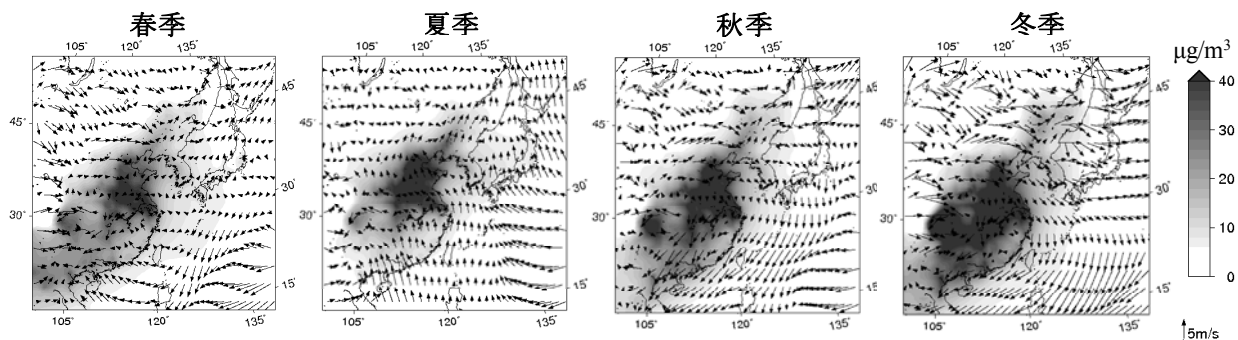


図4 北東アジアのPM_{2.5}地上濃度分布（2005年のモデル結果）。矢印は期間平均の地上風を示す。

に強く依存する。PM_{2.5}のように長寿命で、地上付近では数時間～数日程度、上空では数日～数か月程度、大気中に存在する物質の場合には、汚染は一国に留まらず、北東アジア全体に広域汚染を引き起こす。季節的には、冬季に汚染レベルが高く、また、汚染の広がりも大きいことが見て取れる。

4.2 広域汚染による健康影響

PM_{2.5}等による人への健康影響はどの程度あるのだろうか？ここでは、日本を含む東アジアの国々での健康影響を推計した研究結果[12]について紹介する。この研究では、大気シミュレーションモデルを用いて推計された東アジアにおけるPM_{2.5}等の濃度データと人口分布データを使って、健康影響の一つの指標である早期死亡（その年齢の平均余命よりも早い死亡）数が、年齢30歳以上の人口に対する影響として計算された。また、現状（2005年）の他に、将来の2020年についても3つの将来シナリオ（対策が進むシナリオ、現状維持シナリオ、対策が進まないシナリオ）のもとでの予測濃度を使って計算された。この結果によると、東アジアで最もPM_{2.5}とオゾンによる健康影響を受けている国は中国で、次に韓国、日本と続き、2005年の早期死亡数は中国で46.7万人、韓国で1.7万人、日本で1.5万人にも達すること、2020年（対策が進まないシナリオ）では、中国で93.5万人、韓国で3.4万人、日本で2.6万人に増加すると推計されている。但し、この推計値には大きな不確かさがあることに留意する必要がある。

5. 日本への越境汚染

5.1 九州北部の観測結果

アジア大陸で発生したPM_{2.5}は長距離輸送されて日本列島に流入し、国内の都市域では越境汚染に都市汚染が上乘せられて環境基準を超過するよ

うな濃度レベルになっていると考えられる。

九州北部で観測されるPM_{2.5}は、越境汚染の影響を強く受けていることが報告されている。例えば、金谷ほか[13]は、大陸に近く、周辺に大きな発生源が無い長崎県福江島における2009年9月から約1年間の観測データを解析して、PM_{2.5}年平均濃度が17.3µg/m³（環境基準は15µg/m³）に達し、日平均値の年間98パーセントイル値が環境基準（短期基準；日平均値35µg/m³）を大きく超過していることを指摘した。また、兼保ほか[14]は、福江島と福岡県福岡市で測定された春季のPM_{2.5}濃度を解析し、福岡市でのPM_{2.5}濃度レベルは福江島と同程度であり、日平均の環境基準値を超過するような高濃度が頻繁に出現することを明らかにした。このように、福岡のような大都市域においても、大陸から長距離輸送されるPM_{2.5}の影響が大きいことが示唆される。

5.2 シミュレーション結果

大気シミュレーションモデルを用いてPM_{2.5}の越境汚染影響を評価する研究も進んでいる。

Ikeda ほか[15]は福江島で2010年に測定されたPM_{2.5}濃度の発生源地域別影響を評価し、中国の寄与率が年間で77%に達し、季節的には冬季にその影響が大きいことを示した。前述したように、福江島では環境基準を超過するレベルのPM_{2.5}が観測されているが、これには中国からの越境汚染が大きく影響していると考えられる。

また、茶谷ほか[16]は、東アジア/日本広域/関東地方のシミュレーションモデルを使用して2005年度1年間のPM_{2.5}濃度を計算し、大阪・兵庫圏、愛知・三重圏、首都圏規制地域と東京23区におけるPM_{2.5}の越境汚染影響を評価した。その結果によれば、PM_{2.5}の年平均濃度に対する越境汚染影響は、大阪・兵庫圏で48%、愛知・三重圏で41%、

首都圏規制地域で31%, 東京23区で26%であり、大陸に近い大阪・兵庫圏ではPM_{2.5}の約半分が、また、首都圏規制地域でも約1/3が越境汚染由来である可能性がある。

一方、我々のグループは、東アジア地域を対象としたシミュレーションによって、日本国内全域における中国の人為発生源の寄与率を発生源種類別に計算した。その結果によると、2005年平均の中国寄与率は約60%であり、その発生源別内訳は火力発電所30%, 家庭25%, 工業と農業が各々20%程度と推計され、前述した2013年12月の中国・石家荘でのモデル推計結果[11]と同様に、家庭と農業の影響が予想以上に大きい。

このようにシミュレーションモデルを使用して越境汚染影響を定量的に評価することが可能になりつつある。しかし、モデルの不確実性は大きく、モデル再現性を向上することが大きな課題である。

6. おわりに

以上のように、中国をはじめとする東アジアでは、深刻なPM_{2.5}汚染が発生し、健康影響、生態系への影響、気候影響などを引き起こしている。更に、PM_{2.5}の寿命は長いために、東アジアで発生した大気汚染が地球規模で広がり、地球環境への影響が懸念されている。東アジアにおける大気汚染の改善は、同地域のみならず世界的に喫緊の課題となっている。

参考文献

- [1] Hemispheric Transport of Air Pollution (HTAP), *Hemispheric Transport of Air Pollution 2010, Part A: Ozone and particulate matter*, Air Pollution Studies No.17, United Nations, New York and Geneva (2010).
- [2] 中島映至, 広域大気汚染の問題と大気清浄化に向けた努力, 科学, **83** (2013) 433.
- [3] Kurokawa, J. et al., Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2, *Atmos. Chem. Phys.*, **13** (2013) 11019.
- [4] China Council for International Cooperation on Environment and Development (CCICED), CCICED Special Policy Study, Regional Air Quality, Integrated Control System Research, 2012 Annual General Meeting (2012).
- [5] Yang, F. et al., Characterization of PM_{2.5} speciation in representative megacities and across China, *Atmos. Chem. Phys.*, **11** (2007) 5207.
- [6] 東京都微小粒子状物質検討会, 東京都微小粒子状物質検討会報告書(2011).
- [7] Huang, R.-J. et al., High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China, *Nature*, **514**(2014) 218.
- [8] 鶴野伊津志ほか, 何故 2013 年冬季の中国で PM_{2.5} が高濃度になったか?, 大気環境学会誌, **48-6** (2013) 274.
- [9] Wang, Y. et al., Enhanced sulfate formation during China's severe winter haze episode in January 2013 missing from current models, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **119** (2014) 10425.
- [10] He, H. et al., Mineral dust and NO_x promote the conversion of SO₂ to sulfate in heavy pollution days, *Sci. Rep.*, **4** (2014) 4172.
- [11] Wang, L. et al., The 2013 severe haze over southern Hebei, China: model evaluation, source apportionment, and policy implications, *Atmos. Chem. Phys.*, **14** (2014) 3151.
- [12] 山下研, 東アジアの大気汚染によって影響を受けている私たちの健康, 一般公開シンポジウム「越境大気汚染への挑戦 2013」～国際協調による取組に向けて～講演要旨集 (2013).
- [13] 金谷有剛ほか, 九州福江島における通年 PM_{2.5} 質量濃度測定値の大気環境短期基準超過, 大気環境学会誌, **45-6** (2010) 289.
- [14] 兼保直樹ほか, 九州北部における春季の高濃度 PM_{2.5} と長距離輸送, 大気環境学会誌, **45-5** (2010) 227.
- [15] Ikeda, K. et al., Sensitivity analysis of source regions to PM_{2.5} concentration at Fukue Island, Japan, *J. Air & Waste Management Association*, **64-4** (2014) 445.
- [16] 茶谷聡ほか, 3 次元大気シミュレーションによる 2005 年度日本三大都市圏 PM_{2.5} 濃度に対する国内発生源・越境輸送の感度解析, 大気環境学会誌, **46-2** (2011) 101.

ジョージア工科大学滞在記

A Diary in Georgia Institute of Technology

櫻井 篤 (新潟大学)
Atsushi SAKURAI (Niigata University)
e-mail: sakurai@eng.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

2013年3月より一年間、アメリカにて在外研究という形で滞在する貴重な経験を得ました。常々、ライフワークとして続けられる研究テーマを見つけないかと思っていた私にとって、またとないチャンスであるとの思いから、ナノ・マイクロふく射伝熱の研究分野において世界をリードしておられるジョージア工科大学の Zhuomin Zhang 先生の研究室にお世話になることを決意しました。本稿では、アメリカでの研究生活における体験談をエッセイという形で簡単に紹介させていただきます。

2. アメリカでの研究生活

2.1 アトランタについて

アトランタ市はアメリカ南部ジョージア州に位置する州都で、同市を中心に人口 500 万人の大都市圏を形成しています。コカ・コーラやデルタ航空、CNN といった多数の大企業が本社を置いてあり、アメリカでも随一の成長を遂げている都市として知られています (Fig.1)。林立するビル群のすぐ側には大学や広大な公園、植物園と言った施設があり緑の多い街でもあります。

気候は、南部らしく一年を通して温暖なことから "Hotlanta" という異名を持ちます。東北で生まれ育ち、雪国在住の私としては初めて温暖地域への移住ということで楽しみにしていたのですが、滞在期間中の冬は異常気象でアメリカ大陸に大寒波がやってきました。ジョージア州も例外ではなく、十年ぶりの大雪に見舞われました。大雪といっても積雪 5cm ほどで新潟市民から見れば可愛いものですが、雪道に慣れないアトランタ市民にとっては大問題で、何万人もの人々が帰宅難民となりました。その日ジョージア州は非常事態宣言を出し、それから 3 日間自宅待機を命じられました。私のアパートは水道管が破裂してシャワーさえも浴びることができず、実は私、雪女ならぬ雪男なので

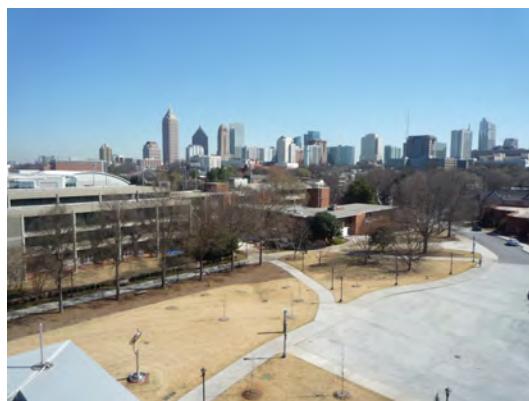


Fig. 1 大学から見たアトランタ市街の風景。ビル群の向こう側に Piedmont Park があります。

はと悶々と過ごしたわけでございます。ちなみに私が不在にしたその年、新潟は近年稀に見る暖冬で全く雪が積もらなかったとか…

さて、アトランタにはカリフォルニアやニューヨークなどと違ってなかなか観光で行くことはないと思いますが、仕事や生活の上ではとても過ごしやすい都市であると思います。その歴史的背景から、他の都市に比べてアフリカ系の方が多いのですが、もちろんヨーロッパやアジア系も多く人種のるつぼであることに変わりありません。Southern Hospitality という言葉があるほど、おおらかな人達が多く、レストランやお店では「調子はどう?」「料理は美味しい?」などとニコニコしながら話しかけてくれるのが何とも嬉しく、不思議な感覚でした。アメリカでの食事といえば、ご存知の通りそれはもう酷いもので毎日ハンバーガー、サンドイッチ、ハンバーガー…の繰り返しで大変ストレスがたまりました。たまに美味しいものを食べようとすると、30ドル以上払ってやっとそれなりのディナーを楽しむことが出来ましたが…結局最後までアメリカンフードに馴染めず激痩せして帰国する羽目になりました。帰国後少し経ってから、「やっぱり太りましたね」と言われまし

たが、それは日本での食事が美味しすぎてあつという間にリバウンドしたからです。

また、アトランタは犯罪率が高いことでも知られております。その不名誉な称号を払拭すべくアトランタ警察は近年大幅に強化され、その犯罪発生件数は減少傾向にあります。大学内にも警察署があり、24時間体制でパトカーが巡回しています。良く言われるように危険な時間帯に危険な地域に立ち寄りなければ、そこまで過剰に警戒する必要はありません。もちろん日本に比べれば圧倒的に危険なのは言うまでもありませんが。

2.2 ジョージア工科大学

ジョージア工科大学 (Georgia Institute of Technology) は、そんなアトランタの中心部に位置しており、通称ジョージアテックと呼ばれる州立大学です。科学技術分野に特化した大学で、世界大学ランキングでも工学分野では常にトップクラスに入っております。同大学は1885年に工学部が設立され、南北戦争後の復興に重要な役割を果たしました。そこで活躍した蒸気機関は、今も大学のシンボルとして保存されており、毎日決まった時間にその汽笛が鳴って市民に時間を知らせてくれます (Fig.2)。私が所属していた機械工学科では、化学や材料といったバックグラウンドを持つ先生方も所属しており、専門分野を超えて活発に学際的な研究を行っておられます。

またアメフト、野球、バスケットボールを始めとしたスポーツが非常に盛んな大学で、メジャーリーガーやNBA選手を数多く輩出しています。ジョージアテックのチームは「Go!Jackets!」が合言葉の通称イエロージャケッツと呼ばれ、アトランタ市民からとても愛されています。ちなみに阪神タイガースのマーティン選手はジョージアテックの学生 (現在は休学中) です。日本の大学と比べるとスポーツ施設がかなり充実しており、呆れるほど巨大なスポーツジム (Fig.3) やスイミングプール (Fig.4) は大学関係者だけでなく一般市民にも開放されています。何故ここまで充実しているのかというと、ジョージアテックのキャンパスが1996年のアトランタオリンピックで競技場と選手村として使われたからなのだそうです。オリンピック後、競技施設は大学のものとなり、選手村は学生寮として現在も使われています。毎週のよ

うに何かしらスポーツの試合が行われておりましたので、私も教員割引を使い格安で野球やアメフトの試合を観戦して楽しみました。そうして市民との繋がりを大切にすることで名声を高め、様々な好循環を作り出しているのだと感じました。



Fig. 2 1888年に建設されたテックタワーと蒸気機関の模型は大学のシンボルとして有名です。



Fig. 3 巨大なスポーツ施設。この他、とても立派なアメフト場や野球場などが勢揃いしています。



Fig. 4 オリンピックプール。州大会や全米選手権などが頻繁に開催されていました。

2.3 研究室のこと

Zhuomin Zhang 先生との出会いは、渡米する一年以上前に遡ります。Zhang 先生と東北大学の圓山重直先生が共同議長で開催した International Workshop on Nano-Micro Thermal Radiation (NanoRad2012) にて、私は幹事としてこの会議に関わっておりました。元々この分野で有名な方でしたが、会議の運営についてきめ細かな指示があって大変助かったことを覚えております。会議後も大変良くして下さい、そのような経緯から、Zhang 先生の研究室に滞在させて頂こうと決意する流れになったのは自然なことだったのかもしれませんが。

Zhang 先生は1985年に中国科学技術大学をご卒業された後、MITで学位を取得され、その後ジョージア工科大の教授に就任されました。アメリカ生活が長いものの、やはり根底はアジア圏の方でもあり、考え方や仕事の進め方は2つの文化の良いところを併せ持ったようなところがあります。

Zhang 先生が主宰する研究室は、Nanoscale Thermal Radiation Laboratory といって、当時学生の国籍はアメリカ4人、中国2人といった構成で、アメリカでは標準的なサイズです。また、私と同時期にもう一人ハルビン工業大学から Junming Zhao 先生が客員研究員として滞在しておりました。その客員研究員という立場についてですが、渡米前は講義や会議が一切無く、海外で研究に没頭できる天国のようなものと経験者の先生方から聞いており、期待に胸を膨らませたものでした。私の場合、その半分は納得できるのですが、もう半分の淡い期待は見事に打ち砕かれてしまいました。Zhang 先生の研究室は予想以上に大変で毎週1時間のマンツーマンミーティングがなかなかの試練でした。研究の進捗状況が遅いと見るや容赦無く叱責されるという学生時代に戻ったような錯覚を覚えることもありましたが、研究が上手く進めば子供のように飛び上がって喜んでくれました。

「私の夢は Nanoscale thermal radiation = Zhuomin Zhang と世界に知ってもらおうことだ！」と言って目をキラキラさせるような、そんな人間的な魅力が周りの人達を惹きつけているのだろうと思います。研究室メンバーの一人一人に対して毎週1時間以上もかけて緻密にディスカッションする姿は新鮮な驚きでもありました。自分自身を省みると、

忙しさを言い訳にしてそこまで徹底的に学生と接してはいなかったな…と反省し、帰国後、私の学生指導の仕方はだいぶ変わったように思います。

また Zhang 先生のご厚意で、大学院生向けの講義を特別に聴講することが出来ました。研究ミーティングでの厳しい姿とは打って変わって、講義中は終始にこやかに学生との議論を楽しみながら授業を行っておりました。パワーポイントと板書を併用しながら講義を進めるタイプで、その模様はビデオ録画され、産業界の若手エンジニアもオンラインで受講することができるシステムとなっておりました。宿題はとんでもない量で、受講生はもちろん TA の学生さんも採点が大変だったと思います。その TA の学生さんですが、将来大学教員になることを見越して、教授に代わって数回講義をするのが必須とのことでした。

アメリカの大学院生は、このように TA あるいは研究員として給与を得ながら博士課程に在学するのはご存知かと思いますが、そのハングリーさにはやはり目を見張るものがあります。もちろん怠惰な学生や、能力があまりにも指導教員の期待通りでない学生の場合、文字通り“kick out”されてしまう厳しい環境に学生達はいます。それでもなお、競争の激しい最先端の研究分野に身を置いているプライドがあり、研究やディスカッションを楽しんでいる様子が印象に残っています。そうして鍛え上げられた学生達は、卒業後世界中に散らばり、その後も在学中のネットワークを駆使して世界的に活躍している姿を見ると、日本人ももっと海外に出なくてはならないなあと感じた次第です。



Fig. 5 著者 (左), Zhang 先生 (中央), 大学院生 Bo Zhao 君 (右) とランチ。

2.4 研究のこと

私が滞在中に従事した研究は、メタマテリアルを用いた熱ふく射制御の研究です。メタマテリアルとは、サブ波長サイズの構造体によって電磁場を制御し、自然界には存在しない新しい光学特性を持つ材料のことです。最近では London Imperial College の理論物理学者がメタマテリアルを用いることで、透明マントが実現可能であると予想したことで有名になりました[1]。光を自由自在に操れるということは、熱ふく射さえも同じように操れるということでもあります。

私はこの研究を環境・エネルギー問題の解決に役立てるべく、太陽熱光起電力発電 (Solar-Thermo-Photovoltaic (TPV)) に応用することを目指しております (Fig. 6a)。太陽光発電は太陽エネルギーの一部しか利用できないのに対し、Solar-TPV 発電では太陽エネルギー全てを一旦熱エネルギーとして蓄えた後、光電変換セルの高感度領域に整合した熱ふく射光に変換することで、太陽エネルギーの全てを利用することが出来ます。そのため理論的には 80%以上もの発電効率が期待出来ると予想されています[2]。熱源は太陽光以外に、製鉄所や発電プラントの廃熱などが自由に選べることもメリットの一つとして挙げられます。

ここで鍵となる技術は、波長選択性を持つ太陽光吸収材料とエミッターです。広帯域ふく射吸収特性を持つ太陽光吸収材料は、太陽放射スペクトル全てを吸収し、かつ赤外光による無駄な熱ふく射損失を一切無くすものです (Fig. 6b)。一方、光電変換 (PV) セルが最も高効率に発電が行える熱ふく射光だけを放射するエミッターが必要です (Fig. 6c)。本来、熱ふく射は広帯域のインコヒーレント光にしかかなりえないと思われていたものが、近年のナノテクノロジーの進化により、その限界を突破することが可能です。これにより PV セルの高感度領域に整合するよう波長を揃え、狭帯域熱ふく射を入射させることで、高い発電効率が期待できます。そこで、メタマテリアルは共鳴波長の位置や帯域幅、偏光といったふく射特性を自由自在に制御することに着目しました。Zhang 先生との共同研究では、このような波長選択性を持つメタマテリアルエミッターを実現するために、その形状や材料の最適条件を探索するための理論を構築いたしました[3]。今後はこの研究成果を基に、

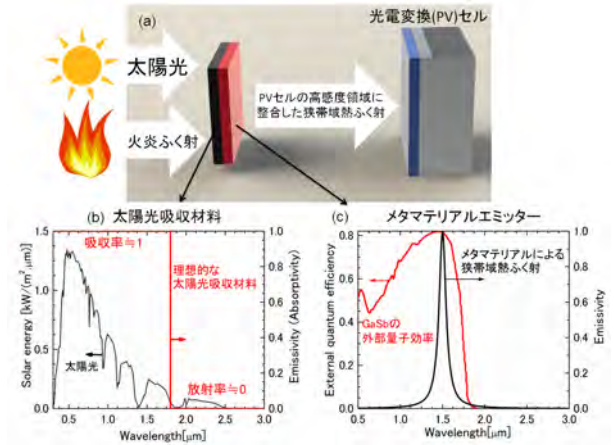


Fig. 6 Solar-TPV 発電システムの概要と、太陽光吸収材料及びエミッターのふく射特性.

国内外における研究者からの協力を得てメタマテリアルによる熱ふく射制御の実現と Solar-TPV 発電への展開に邁進していきたいと考えております。

3. おわりに

アメリカでの長期滞在中に当たり、多くの方々に大変お世話になりました。渡米するにあたって貴重なアドバイスを頂きました圓山重直先生、花村克悟先生、山田純先生、宮崎康次先生に深く御礼申し上げます。また、不在期間中の講義を代わりに引き受けて頂いた松原幸治先生を始め、私の長期滞在中を許して下さいました新潟大学の先生方にこの場をお借りして御礼申し上げます。滞在中は、アトランタ在住の日本人研究者・学生の皆様にも大変お世話になりました。一人一人お名前を挙げる事が出来ず残念ですが、皆様のおかげで一年間無事に過ごせたと言っても過言ではありません。最後に、滞在中 Skype と Eメールでの研究指導に対して、きちんと研究成果を出してくれた当研究室の学生諸君に改めて感謝したいと思います。

参考文献

- [1] Pendry, J. B. et al., Controlling electromagnetic fields, *Science*, **312** (2006) 1780-1782.
- [2] Fan, S., Photovoltaics: An alternative 'Sun' for solar cells, *Nature Nanotech.*, **9** (2014) 92-93.
- [3] Sakurai, A. et al., Resonant frequency and bandwidth of metamaterial emitters and absorbers predicted by an RLC circuit model, *JQSRT*, **149** (2014) 33-40.

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2015年					
6月	3(水) ～ 5(金) 第52回日本伝熱シンポジウム (開催場所:福岡国際会議場)	2015.1.16	2015.3.13	実行委員会委員長 高松 洋 九州大学 大学院工学研究院機械工学部門内 Email: symp2015@htsj-conf.org Fax: 092-802-3127	

本会共催, 協賛, 後援行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2014年					
12月	18(木) ～ 19(金) 第23回微粒化シンポジウム (開催場所:弘前大学文京町キャンパス)	2014.9.1	2014.10.24	「第23回微粒化シンポジウム」参加担当幹事 麓 耕二 (〒036-8561 青森県弘前市文京町3番地 弘前大学理工学部知能機械工学科) Tel&Fax: 0172-39-3676 E-mail: kfumoto@cc.hirosaki-u.ac.jp URL: http://www.ilass-japan.gr.jp/	
2015年					
1月	22(木) ～ 23(金) 第43回ガスタービンセミナー 「ガスタービンの最新技術と各種タービン技術の動向」 (開催場所:三菱重工横浜ビル)			公益社団法人日本ガスタービン学会事務局 Tel: 03-3365-0095 Fax: 03-3365-0387 E-mail: gstj-office@gtsj.org	
2月	13(金) No.14-14 シンポジウム 省エネを支える伝熱技術 -熱マネジメント- (開催場所:工学院大学アーバンテックホール)	2015.2.6		公益社団法人自動車技術会 育成・イベントグループ 福田・大津 Tel: 03-3262-8214 Fax: 03-3261-2204	
5月	17(日) ～ 21(木) 23rd International Conference on Nuclear Engineering(ICONE-23/2015) 第23回原子力工学国際会議 (開催場所:幕張メッセ国際会議場)	2014.9.20	2014.11.29	ICONE23 事務局 E-mail: info@icone23.org URL: http://www.icone23.org/	
6月	16(火) ～ 18(木) 5th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF-2015) (開催場所: Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden)	2014.12.15		ICJWSF-2015 組織委員会副議長 内山知実 (名古屋大学エコトピア科学研究所) Tel&Fax: 052-789-5187 E-mail: uchiyama@is.nagoya-u.ac.jp	
6月	18(木) ～ 19(金) No.15-12 第20回動力・エネルギー技術シンポジウム (開催場所:東北大学工学研究科 青葉記念館および中央棟)	2015.1.30	2015.4.30	実行委員長 橋爪秀利(東北大学) 幹事 江原真司(東北大学) Tel: 022-795-7905 Fax: 022-795-7906 E-mail: shinji.ebara@qse.tohoku.ac.jp	
11月	15(日) ～ 20(金) International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo (IGTC2015 Tokyo) 2015年国際ガスタービン会議東京大会 (開催場所:虎ノ門ヒルズ)			公益社団法人日本ガスタービン学会事務局 Tel: 03-3365-0095 E-mail: igtc2015@gtsj.org	
11月	30(月) ～ 12月 4(金) The 12th International Conference on Power Engineering 2015 (ICOPE2015) 第12回動力エネルギー国際会議 (開催場所:パシフィコ横浜)	2014.11.30	2015.3.31	ICOPE-15 実行委員会委員長 刑部真弘(東京海洋大学) E-mail: icope15@jsme.or.jp	

第 52 回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集

第 52 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
委員長 高松 洋
幹事 藏田耕作

開催日：平成 27 年 6 月 3 日（水）～6 月 5 日（金）
会場：福岡国際会議場 (<http://www.marinemesse.or.jp/congress/>)
所在地 〒812-0032 福岡市博多区石城町 2-1 電話 092-262-4111（代表）
アクセス 福岡空港より呉服町駅まで福岡市営地下鉄で約 10 分，呉服町駅より徒歩約 12 分。
JR 博多駅より西鉄バスで約 12 分，サンパレス前下車すぐ。
ホテル日航福岡 (<http://www.hotelnikko-fukuoka.com/>)
所在地 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前 2-18-25 電話 092-482-1111（代表）
アクセス 福岡空港より JR 博多駅まで福岡市営地下鉄で約 5 分，JR 博多駅より徒歩約 3 分。

講演申込締切：平成 27 年 1 月 16 日（金）
講演論文原稿提出締切：平成 27 年 3 月 13 日（金）
事前参加申込締切：平成 27 年 4 月 10 日（金）

ホームページ URL：<http://htsj-conf.org/symp2015/>

【シンポジウムの形式】

- ・ 講演発表形式として
 - a) 通常的一般セッション（口頭発表）
 - b) オーガナイズドセッション（口頭発表）
 - c) 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッションを実施します。
- ・ 1 講演あたりの割当時間は、一般セッションでは 15 分（発表 10 分，個別討論 5 分）で、各セッションの最後に総合討論の時間（5 分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。オーガナイズドセッションについては、オーガナイザーの指示に従って下さい。
- ・ 優秀プレゼンテーション賞セッションについては、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第 52 回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照下さい。

【参加費等】

- ・ シンポジウム参加費
 - 会員一般（事前申込：12,000 円，会場申込：15,000 円）
 - 非会員一般（事前申込：15,000 円，会場申込：18,000 円）
 - 会員学生（事前申込：6,000 円，会場申込：7,000 円）
 - 非会員学生（事前申込：7,000 円，会場申込：8,000 円）※特別賛助会員は 1 口につき 3 名，賛助会員は 1 口につき 1 名，参加費が無料になります。
- ・ 講演論文集 CD-ROM
日本伝熱学会会員：無料（講演論文はウェブ上で事前に公開します。参加者には当日，講演論文集 CD-ROM を配布します。参加されない会員のうち希望者には講演論文集 CD-ROM を事後にお送りします。）
非会員：9,600 円（会場受付にて日本伝熱学会に入会を申し込まれる場合は無料となります。）

【懇親会】

- ・ 開催日：平成 27 年 6 月 4 日（木）
- ・ 会場：ホテル日航福岡
- ・ 参加費：一般（事前申込：8,000 円，会場申込：10,000 円 同伴配偶者無料）
学生（事前申込：4,000 円，会場申込：5,000 円）

【交通と宿泊】 交通と宿泊につきましては、本シンポジウムのホームページをご参照下さい。

講演申込方法、講演論文集、執筆要綱

【研究発表申し込み方法】

- ・原則としてウェブによる申込みに限らせて頂きます。本シンポジウムで準備するウェブサイトから必要なデータを入力して下さい。ウェブによる申込みができない場合には、実行委員会事務局にお問い合わせ下さい。
- ・申込みの際に、一般セッション、オーガナイズドセッション、優秀プレゼンテーション賞セッションのいずれで発表するかを選択して下さい。優秀プレゼンテーション賞セッションにお申込みの場合には、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞(第52回日本伝熱シンポジウム)について」をご参照下さい。
- ・発表申込み時に、論文要旨(日本語で200~250字)を入力して下さい。講演論文集の抄録として科学技術振興機構(JST)のデータベースに登録します。
- ・講演発表申込みは、講演者1名につき1題目とさせていただきます。
- ・講演の採否およびセッションへの振分けは、実行委員会にご一任下さい。

【講演論文集】

**講演論文集として電子版(CD-ROM版)のみを発行し、印刷版は発行しません。
講演論文はウェブ上で一定期間公開します。**

- ・講演論文集 CD-ROM を参加者に当日配布します。なお、講演論文集 CD-ROM は参加できなかった会員にも希望があれば配布しますので、シンポジウム終了後に実行委員会事務局にお申込み下さい。
- ・講演論文の原稿は1題目あたり A4 サイズで原則2ページ、作成様式は2段組×片側26字×60行ですが、本学会の論文誌投稿用の8ページ以内のフルペーパーを掲載することができます。いずれもカラーの使用が可能で、ファイル容量は最大で2MBまでとし、動画は含まないものとします。
- ・**講演論文原稿は、PDF ファイルで本シンポジウムのホームページから提出して下さい。**
- ・原稿提出締切日までに提出されなかった講演論文は、講演論文集 CD-ROM およびウェブに掲載されません。十分にご注意下さい。
- ・講演論文集 CD-ROM に掲載された講演論文は、本学会の論文誌“Thermal Science and Engineering”にそのまま投稿することができます。ただし、掲載の可否は通常の査読プロセスを経て決まります。
- ・TSE への投稿を希望する場合、ホームページから原稿を提出する際に、論文投稿画面中のチェックボタンを ON にして下さい。その際、TSE の投稿規程をご一読願います。査読は、電子版に掲載された論文をもとに TSE 編集委員会において担当エディタを定め、通常の手続きに従って行います。講演論文の原稿と同じ2ページでも TSE 原稿として受け付けますが、8ページ以内でより詳細に執筆頂くほうが、その後の査読が円滑に進みます。掲載可となった後には、TSE の論文形式に沿った原稿を提出して頂きます。この場合の TSE 論文の受理日は、シンポジウム実行委員会での原稿受付日になります。

【執筆要綱】

講演論文原稿の書き方

- ・講演論文は以下に従って作成して下さい。また、書式の詳細ならびにテンプレート用の電子ファイルは、シンポジウムのホームページをご参照下さい。

表題部分の書式： 原稿は、以下の四角囲い部に示すように、和文表題、和文副題、英文表題、英文副題、和文著者名(会員資格、著者名、所属の略記)、英文著者名、英文所属機関・所在地、英文アブストラクト、英文キーワードの順に、段組をせず幅 150 mm に収まるようにレイアウトして下さい。連名者がある場合には、講演者の前に*印をつけ、英文の所属機関・所在地についても上付き数字で区別して下さい。

論文表題および著者名は、講演申込時のデータと同じものを同じ順序で書いて下さい。講演申込時のデータと異なる場合には、目次や索引に反映されないことがあります。

<p>第 52 回日本伝熱シンポジウム原稿の書き方（和文表題：Gothic 14pt）</p> <p>MS-Word の場合（和文副題：Gothic 12pt）</p> <p>Guide for the manuscripts（英文表題：Times New Roman 12pt）</p> <p>The case of MS-Word（英文副題：Times New Roman 12pt） （1 行あける）</p> <p>伝正 *伝熱 太郎（伝熱大）（会員資格 著者名[講演者には*印]（所属略称）：明朝体 12pt） （1 行あける）</p> <p>Taro DENNETSU（英文著者名：Times New Roman 10pt）</p> <p>Dept. of Mech. Eng., Dennetsu Univ., 3-1, Johoku, Fukuoka 812-0099 （1 行あける）</p> <p>（文頭に半角スペース 5 つを挿入する）English abstract（英文アブストラクト：Times New Roman 10pt, 100 語程度） （1 行あける）</p> <p>Key Words : Heat Transfer（英文キーワード：Times New Roman 9pt, 3~5 個程度） （1 行あける）</p>

表題部分の書式

本文の書式： 第 1 ページで、本文は 9 ポイント明朝体の 2 段組（片側 1 行 26 文字程度）で作成して下さい。第 2 ページ以下では、先頭から 2 段組とし、片側 60 行を目安として作成して下さい。

図表： 図表中の記号およびキャプションは英語で書いて下さい。カラー表示が可能です。

参考文献： 参考文献は本文中の引用箇所の右肩に小括弧をつけた番号⁽¹⁾で表し、本文の末尾に次のようにまとめて列記して下さい。

（番号）著者名、雑誌略称、巻-号（発行年）、先頭ページ番号。

例：(1) 伝熱・他 2 名、機論(B), 12-345(2006), 1234.

PDF ファイルへの変換： PDF ファイル作成のためのファイル変換時には、「フォントの埋め込みを行う」よう設定して下さい。提出前に必ず、変換後の PDF 原稿を印刷して確認して下さい。

【講演論文の公開日】

- ・講演論文は、会員を対象にパスワードを配布し、シンポジウム開催日の 1 週間程前からウェブ上で公開します。したがって、特許に関わる公知日はシンポジウム開催日よりも早くなりますので、ご注意下さい。
- ・会員が当該講演論文を後日原著論文として学術論文誌等に投稿される場合に配慮し、本講演論文集が限られた範囲に配布されたものであることを明確にすべく、シンポジウム終了後、一定期間を経て講演論文の公開を終了します

【参加費等の支払い方法】

- ・シンポジウムのホームページから事前参加登録を行った後に、本誌に挟み込まれた「払込取扱票」を用い、以下の記入例を参考にしてお支払い下さい。
- ・参加費等の払込みをもって「事前申込完了」とします。ホームページからの登録だけでは「完了」ではありません。払込みが平成 27 年 4 月 10 日以降になった場合は会場当日申込み扱いとし、会場受付にて差額をお支払い頂きます。
- ・銀行より振込まれる場合は、下記のゆうちょ銀行口座にお振込み下さい。その際、必ず 1 件ずつとし、氏名の前に参加登録 ID 番号を付けて下さい。

店名（店番）：一七九（イチナナキユウ）店（179）

預金種目：当座

口座番号：0128056

口座名称（漢字）：第 52 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

口座名称（カナ）：ダイゴジュウニカイニホンデンネツシンポジウムジッコウイインカイ

— 記入例 —

登録 ID は参加申込時に発行される「4桁の数字 (予定)」です。

お支払い頂く項目を○で囲んで下さい。

払込手数料はご負担下さい。

「通信欄」の合計金額をこちらにご記入下さい。

払込取扱票												
口座記号・番号はお間違えないよう記入してください。												
口座記号				口座番号 (右詰で記入)								
00	0	1	7	0	0	0	1	2	8	0	5	6
金額				千 百 十 万 千 百 十 円								
				3 6 0 0 0								
加入者名				料 金				備 考				
第 52 回 日 本 伝 熱 シ ン ポ ジ ウ ム 実 行 委 員 会												
参加登録 ID 参加者氏名 内容 (該当に○) 金額												
1. 2015 伝熱 二郎 シンポ 懇親会 20,000 円												
2. 2138 福岡 花子 シンポ 懇親会 10,000 円												
3. 2457 九州 学 シンポ 懇親会 6,000 円												
合計金額 36,000 円												
事前払込締切 4月10日 (金)												
〒 123 - 4567												
福岡県福岡市○○区○○1-2-3												
伝熱大学 工学部 伝熱学科												
伝熱 二郎 様												
(ご連絡先電話番号 012 - 345 - 6789)												
裏面の注意事項をお読みください。(ゆうちょ銀行)												
これより下部には何も記入しないでください。												

1枚の要旨で複数の参加者の登録が可能です。本登録の代表者の方のご所属の連絡先・お名前・電話番号を「ご依頼人」の欄にご記入下さい。

振替払込請求書兼受領証												
記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。												
口座記号				口座番号 (右詰で記入)								
00	0	1	7	0	0	0	1	2	8	0	5	6
金額				千 百 十 万 千 百 十 円								
				3 6 0 0 0								
加入者名												
第 52 回 日 本 伝 熱 シ ン ポ ジ ウ ム 実 行 委 員 会												
おなまえ												
伝熱 二郎 (伝熱大学) 様												
ご依頼人												
代表者のお名前をご記入下さい。												
(消費税込)												
料 金												
日 附 印												
備 考												
この受領証は、大切に保管してください。												

【ご注意】

- ・ 講演申込みの取消および講演論文原稿の差替えは、シンポジウムの準備と運営に支障をきたしますのでご遠慮下さい。
- ・ 論文題目と著者名が講演申込み時と論文提出時で相違しないように特にご注意下さい。
- ・ 口頭発表用として実行委員会事務局が準備する機器は、原則としてプロジェクタのみとさせていただきます。パーソナルコンピュータは各自ご持参下さい。
- ・ 参加費、懇親会費等は参加取消しの場合でも返金いたしません。
- ・ 本シンポジウムに関する最新情報については、随時更新するホームページでご確認下さい。
- ・ その他、ご不明な点がございましたら、実行委員会事務局まで e-mail または FAX でお問い合わせ下さい。

【お問い合わせ先】

第 52 回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局
 九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門内
 E-mail : symp2015@htsj-conf.org
 FAX : 092-802-3127

優秀プレゼンテーション賞（第52回日本伝熱シンポジウム）について

日本伝熱学会 学生会委員会
委員長 桑原不二朗

第52回日本伝熱シンポジウムでは、下記の要領で、学生および若手研究者を対象とした優秀プレゼンテーション賞セッションを設けます。日頃の研鑽の成果を披露するチャンスとして、奮ってご応募下さい。

- 開 催 日：平成27年6月3日（水） シンポジウム第1日
- 発 表 形 式：発表者1名あたり3分程度のショートプレゼンテーションと60分程度のポスタープレゼンテーションを行う形式をとる予定です。詳細については、決定し次第、シンポジウムのホームページに掲載いたします。
- 対 象：企業・大学・研究機関等の技術者・研究者で、平成27年3月31日現在で28歳以下の者、または、申込当日に学生である者（ただし、社会人大学院生を除く）。
- 応 募 資 格：発表時（審査時）に、日本伝熱学会の会員（正員・学生員）であること、または入会申込中であること。なお、本セッションで発表する方は、応募資格を必ず満たす必要があります。また、過去に本賞を受賞された方は応募することはできません。
- 応 募 件 数：指導教員または研究グループ長等あたり、1名（1件）とします。
- 応 募 方 法：第52回日本伝熱シンポジウム発表申込時に、本号掲載の【研究発表申し込み方法】に従って、“優秀プレゼンテーション賞セッション”の項目を選択し、“指導教員または研究グループ長等の氏名・所属・メールアドレス”および“研究分野の分類”を入力してください。なお、講演論文原稿の様式については一般セッションと同様のものとします。
- 審査・選考方法：複数名の審査員による評価に基づいて選考し、受賞者を決定します。
- 表 彰：受賞者はシンポジウム第2日の学会総会で表彰されます。

伝熱学会講習会「伝熱工学の基礎」

開催日 2015年2月27日(火) 13:00~18:30

会場 東京理科大学 森戸記念館 <http://www.tus.ac.jp/facility/morito/>
(東京都新宿区神楽坂 4-2-2)

要旨 加熱・冷却や温度制御することはもの作りの基本です。しかし、この熱プロセスの中心となる伝熱工学を学ばずに熱プロセスを担当している企業の方が多いと思われます。本講習会はこれから伝熱工学を学ぶことによって熱プロセスをより高度化したい方、伝熱工学をほとんど学んだことがない方を対象に、熱プロセスの基礎を分かりやすく教えます。また、講義では実際の熱機器の設計に欠かせない伝熱工学の勘所を伝授しますので、すでに伝熱工学を修得した方や大学・高専の学生・教員も歓迎します。

題目・講師

13.00 ~ 17.30 伝熱工学の基礎

円山重直 (東北大学)

1. 物作りにおける伝熱工学の重要性
2. 伝熱工学の概要
3. 熱伝導 (伝導伝熱)
4. 対流伝熱 (流れによる熱伝達)
5. 相変化を伴う熱伝達 (沸騰・凝縮)
6. ふく射伝熱
7. 拡大伝熱面(フィン)
8. 熱交換器

定員 70名

参加費 一般 30,000 円, 賛助会員 25,000 円, 特別賛助会員 20,000 円, 学生 15,000 円
参加費は事前に学会にお振り込みください (テキスト, 記入式ノートの代金を含みます)。

懇親会 17:30-18:30 講習会の後で講師との懇談会を行います。参加費無料

資料集 テキスト (JSME テキストシリーズ 「演習 伝熱工学」) を参考書として、カラーの穴埋め式ノートを準備します。

申込方法 学会のホームページ <http://www.htsj.or.jp/lecture/index.html>からお申し込み下さい。

申込み・問合せ先 日本伝熱学会 (担当 大澤) / 電話 (03) 3259-7919 / FAX (03) 5280-1616
/ E-mail : office@htsj.or.jp

会員の皆様にお願ひ お知り合いの方で伝熱工学をこれから学ばれる方には是非お勧めください。

講義内容紹介HP <http://youtu.be/FRGcpYndwj8>



編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値のある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対 象	対 応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています。)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、総務部会長・編集出版部会長・広報委員会委員長・総務担当副会長補佐協議員に記事を同時送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関する分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長と（会誌担当）広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載 （バナー広告のみ、有料）	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長又は広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては http://www.htsj.or.jp/banner.pdf をご参照下さい。

【連絡先】

- ・総務部会長：小野直樹（芝浦工業大学）：naokiono@sic.shibaura-it.ac.jp
- ・編集出版部会長：中部主敬（京都大学）：nakabe@me.kyoto-u.ac.jp
- ・広報委員会委員長：田口良広（慶應義塾大学）：tag@sd.keio.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐協議員：齊藤卓志（東京工業大学）：tsaito@mep.titech.ac.jp
- ・事務局：大澤毅士・倉水裕子：office@htsj.or.jp

【注意】

- ・原稿はWordファイルまたはTextファイルをお願いします。
- ・HPはメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承ください。
- ・MLでは、原則としてテキスト文の送信となります。pdf等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。

事務局からの連絡

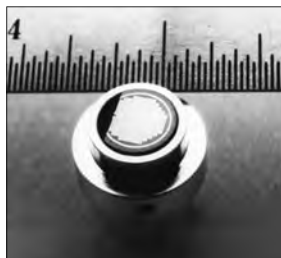
53期入会（2014.10.1～2014.12.18）正4名

資	氏名	所属	資	氏名	所属
正	北条 栄	NEC エンジニアリング (株)	正	一橋 直人	日立工機 (株)
正	滝川 幹雄	(株) デンソー	正	永島 浩樹	東北大学 流体科学研究所

熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 (W/cm^2) に比例した直流電圧を出力します。
弊社の製品は、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。
特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、
熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

熱流束 マイクロセンサー



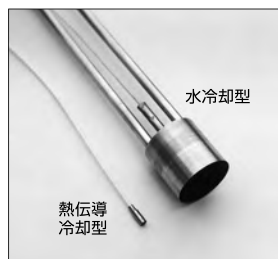
特徴

- 最高速の応答 (約 6μ 秒)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラブル実験
- タービンレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

サーモゲージ



センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタントで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

gSKIN® 熱流束センサー



「gSKIN®」熱流束センサーはセンサー自身の表面を通過する熱流束を29対の超高感度な熱電対を用いて測定します。センサーは、 $72m^2$ の広さを持ち、厚さは $0.4mm$ です。レベル-0パッケージの最適化ポリマーと1-レベルパッケージの金属の構造になっています。

使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定
- 暖房および換気自動システムの測定
- 熱移動/熱放出の即時応答測定

熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。



センサテクノ株式会社

URL

www.senstech.jp

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

E-mail

info@senstech.jp



■ CAPTEC 社日本総代理店 ■ MEDTHERM 社輸入販売店 ■ ITI 社輸入販売店

当社は、独自の高度技術を持つ、海外メーカーの熱計測機器をご提供致しております。

CAPTEC 社(フランス)

CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



サイズ: 5×5mm～300×300mm
厚み: 0.4mm (平面用・曲面用)
温度範囲: -200～200°C
応答速度: 約 200ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
特注品: 高温用・高圧用・防水加工

輻射センサー



サイズ: 5×5mm～50×50mm
厚み: 0.25mm
温度範囲: -200～250°C
応答速度: 約 50ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
波長領域: 赤外/可視+赤外

MEDTHERM 社(アメリカ)

MEDTHERM(メドサーム)社は、これまで30年以上にわたり、高品質の熱流計及び超高速応答の熱電対を提供してまいりました。航空宇宙・火災・燃焼分野における豊富な実績を有しています。用途に応じ、様々な形状・仕様の製品を製造可能です。

熱流計/輻射計



熱流束範囲: 0.2-4000Btu/ft²sec(フルスケール)
サイズ: 1/16インチ(約1.6mm)～1インチ(約25.4mm)
最高温度: 200°C(水冷なし)/1500°C(水冷)
出力信号: 0-10mV(DC・線形出力)
直線性: ±2%(フルスケールに対して)

応答速度: 50ms以下*
再現性: ±0.5%
較正精度: ±2%
オプション: 輻射窓・視野角指定等

*応答速度は、熱流束レンジによって異なります。

超高速応答同軸熱電対

本同軸型熱電対は、第1熱電対のチューブの中に第2熱電対ワイヤーが挿入された同軸構造になっています。第2熱電対ワイヤーは、厚み0.0005インチ(約0.013mm)の特殊なセラミックで絶縁コーティングされています。プローブ先端の熱電対接点は、厚み1～2ミクロンの金属皮膜で真空蒸着されており、最高1マイクロ秒の応答速度を実現しています。



【主な用途】
表面温度及び表面熱流束計測
風洞試験・エンジンシリンダー・エアコンプレッサー等
【最小プローブ径】
0.015インチ(約0.39mm)

【熱電対タイプ】
T型(銅/コンスタンタン) -270°C～+400°C
J型(鉄/コンスタンタン) -210°C～+1200°C
E型(クロメル/コンスタンタン) -270°C～+1000°C
K型(クロメル/アルメル) -270°C～+1372°C
S型(白金10%ロジウム/白金) +200°C～+1700°C

ITI 社(アメリカ)

ITI(International Thermal Instrument Company)社は、1969年の設立以来、高温用熱流板や火災強度熱流計など、特殊な用途に対応した製品を提供しています。特注品の設計・製造も承っております。

高温用熱流板



最高温度: 980°C
応答速度: 0.1s
直径: 8mm～25.5mm 厚み: 2.5mm

水冷式 火災強度熱流計



最高温度: 1900°C
応答速度: 0.1s
最大熱流束レンジ: 0～3000W/cm²

当社取扱製品の適用分野

- 伝熱一般
- 温熱環境
- 炉・ボイラー
- 航空宇宙
- 火災
- 燃焼
- 各種エンジン

有限会社 テクノオフィス

〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B
TEL. 045-901-9861 FAX. 045-901-9522
URL: <http://www.techno-office.com>

編集出版部会ノート

Note from the JHTSJ Editorial Board

今月号の特集は地球規模の諸現象と現状を把握いただきたく、企画しました。ご存じのとおり、二酸化炭素 CO₂ の地球温暖化現象に及ぼす影響とその排出規制は COP3 (1997 年) の京都議定書採択以来、日本でも大きな関心を引き、問題解決に向けた多方面からの取り組みが行われている地球規模の最重要課題の一つです。化石燃料の燃焼では CO₂ ばかりでなく水蒸気 H₂O や各種有害物質も排出されますが、CO₂、H₂O によるふく射、H₂O の相変化による雪氷、雲、台風の生成などなどは本会会員の方々の研究分野の範囲でもあります。ただ、地球規模となりますと、北極海の氷の減少を、コップに浮かべた氷が溶けても水面位置は変化なしで問題なし、というような単純な解釈だけでは済まされません。半世紀ほど前のバックミンスター・フラー (Richard Buckminster Fuller) の造語、宇宙船地球号 (Spaceship Earth, 1963 年) など、先人達の残した提言、教訓、暗示の意味する処を再考し、将来の地球の進むべき道を伝熱工学の観点から考え、呈示いただけるような切っ掛けを与える特集企画となっていましたら大変幸甚です。

早坂 洋史 (北海道大学)

Hayasaka, Hiroshi (Hokkaido University)

E-mail: hhaya@eng.hokudai.ac.jp

副会長 圓山 重直 (編集出版担当, 東北大学)

部会長 中部 主敬 (京都大学)

委員

(理事) 高橋 厚史 (九州大学), 二本柳 保 (東北電力(株)), 野村 信福 (愛媛大学), 山田 雅彦 (北海道大学)

(協議員) 加賀 邦彦 (三菱電機(株)), 澤井 徹 (近畿大学), 白樫 了 (東京大学), 鈴木 雄二 (東京大学), 中村 元 (防衛大学校), 早坂 洋史 (北海道大学), 松原 幸治 (新潟大学), 吉田 敬介 (九州大学)

TSE チーフエディター 花村克悟 (東京工業大学)

編集幹事 伏信一慶 (東京工業大学)

編集出版部会 連絡先: 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C III
京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻
中部主敬

Phone & Fax: 075-383-3605 / E-mail: nakabe@me.kyoto-u.ac.jp