

生存圈研究



No. 1

2005年



京都大学 生存圏研究所



「生存圏研究」は、京都大学生存圏研究所がその活動と生存圏の研究に関する報告を行うことことを目的として、年一回発行する紀要です。本誌は京都大学木質科学研究所の「木材研究・資料」の後継も兼ねています。生存圏の研究に関心を持たれる機関や研究者に広く行き渡るよう無料で配布しています。お問い合わせは当研究所までお寄せください（〒611-0011 宇治市五ヶ庄、電話番号 0774-38-3346）。

本第1号は、平成16年度の成果を元に発行します。引き続き、平成17年度の成果に基づく第2号を発行予定です。

編集委員

橋本 弘蔵	梅村 研二	堀之 内武
林 隆久	中村 卓司	小嶋 浩嗣
上田 義勝	森 拓郎	反町 始

目 次

巻頭言	-----1
1. 総 説	-----2
1. 1 植物を使った地球環境浄化は可能か (教授 矢崎一史)	-----2
1. 2 大型大気レーダーで高層大気の謎解きに挑む (教授 深尾昌一郎)	-----8
1. 3 木材から宇宙で使える材料へ (講師 畑 俊充)	-----15
1. 4 宇宙太陽発電所 SSPS による生存圏の拡大 (助教授 篠原真毅)	-----22
2. 共同利用	-----29
2. 1 MU レーダー	-----29
2. 2 赤道大気レーダー	-----31
2. 3 METLAB	-----33
2. 4 居住圏劣化生物飼育棟	-----35
2. 5 生活・森林圏シミュレーションフィールド	-----37
2. 6 木質材料実験棟	-----39
2. 7 生存圏データベース	-----41
2. 8 プロジェクト	-----43
3. 生存圏学際萌芽研究センター	-----45
4. 研究業績	-----54

「生存圏研究」巻頭言

生存圏研究所は、京都大学の三大キャンパスの一角を占める宇治地区にあった木質科学研究所と全国共同利用の宙空電波科学研究センターが発展的に再編統合され、新しい理念のもとにできあがった研究所です。再編統合の際には構成教員全員が33回、慎重に議論を積み上げ、新学術領域として「生存圏科学」を目指すことになりました。ともに、人間の生存に必要な科学技術への展開を視野に入れていたので、人類の生存環境を三次元的に捉える「圏」という観点を導入する生存圏研究所への移行は潤滑に行われました。平成16年4月より京都大学が国立大学法人になり、新たに与えられた裁量権を生かし、法人化と同時に独自に発足させた第一号の新生部局が当研究所となりました。その概念は人類の生存する領域「生存圏」の現状と将来を学術的に評価・理解を深化させるとともに、新たに生存圏を開拓、創成するための先進的技術開発を目指すことを基礎に構築されました。その意味で、生存圏研究所のミッションは社会的要請を背景に、21世紀の最大課題である人類の生存と反映を脅かす諸問題の解決に取り組むことです。そのために、従来 of 学術分野である農学、木質科学、生命科学、電子工学、通信情報学、宇宙・地球物理学などの多様な背景を持つ研究者が中心となり、新しい生存圏科学を創成し、京都大学附置の全国共同利用研究所として学術界、一般社会に貢献してゆくことになったわけです。所員一同が堅い決意と深い信念に基づいて臨んだ文部科学省の学術審議会学術推進部会の審議を無事通過し、平成17年度から生存圏研究所は大学附置全国共同利用研究所として正式に認可され、初代所長には筆者が就任致しました。

当面は下記の4つのミッションを掲げ、全国、世界の研究者とともに鋭意取り組みます。

(1) 環境計測・地球再生；地球大気 of グローバルかつアクティブな観測研究と技術開発、森林圏生命科学、木質資源保全回復研究により、環境計測と地球再生の科学を推進し、生存圏の保全と再生可能な循環型社会の構築に貢献します。(2) 太陽エネルギー変換・利用；宇宙で無尽蔵に得られる太陽エネルギーを電波で地上へ持ち帰る宇宙太陽発電所の研究と木質系バイオマスのエネルギー・化学資源変換の研究を中心に、太陽エネルギー変換・利用手法について多角的、戦略的に研究を進め、炭酸ガスを出さない太陽エネルギー依存型循環社会の基礎構築に貢献します。(3) 宇宙環境・利用；宇宙環境の探査・利用技術の開発、宇宙からの地球・電離圏観測、それらに関連する計算機実験と共に、宇宙環境下での木質素材の利用技術の新開発を行い、人類の生存圏の拡大に貢献します。(4) 循環型資源・材料開発；生存圏における炭素および水の循環連鎖をレーダー観測し、それと関連させた木質資源の持続的・循環的利用技術を開発して、21世紀型資源循環システムの基礎構築に貢献します。

この度、京都大学生存圏研究所発行の和文雑誌として、生存圏の研究に関する研究成果ならびに同研究所に関連する研究活動の報告を目的として本誌を発刊する運びとなりました。本誌は所内に設けられた生存圏研究所広報委員会の編集のもとで年1回、毎年1～3月頃に発刊の予定です。本誌の内容は大別して(1)総説記事、(2)共同利用報告、(3)研究資料、および(4)研究業績紹介となります。

今後、研究所の顔として本誌が長らく愛読され、学会並びに社会に利用されることを望んで巻頭言と致します。

平成18年春
生存圏研究所初代所長（現、京都大学理事・副学長）
松本 紘

植物を使った地球環境浄化は可能か

森林圏遺伝子統御分野 矢崎一史

1. はじめに

20世紀における人間活動の発展は、生活の豊かさの反面で地球環境の悪化をもたらした。悪化した環境は地球上広くに広がっており、大気中ではNOx、オゾン、CO2などが問題となっており、水質環境中ではハロゲン化炭化水素、富栄養化による汚濁、環境ホルモン類などが、また土壌環境中では内分泌かく乱物質やダイオキシンなどの有機化合物が大きな社会問題とされている。これら様々な汚染のうち、分解解毒することができないため非常に厄介とされている汚染物質に有害重金属がある。重金属による汚染は水や土壌環境中に存在し、比較的低濃度であっても非常に広範囲に拡散しているため、農作物などの食物中に吸収された後濃縮され、結果としてそれを食べる人間や家畜に甚大な被害を引き起こす。現在、全地球レベルで早急に解決すべき問題とされている環境汚染の一つである。特に、ここ日本では米が主食とされ、米は自給可能な唯一の穀物という認識が浸透しているところであるが、その日本産米に比較的高濃度のカドミウムが含まれているという大問題を聞いたことがある人も多いだろう。カドミウムなど重金属は、農薬のような有機化合物と異なり、それ以上分解して無毒な物質に変換することができない。一度広がってしまったこの分解不能な汚染物質を、どうやったら浄化することができるのだろうか。

2. 植物と重金属

カドミウムなどの重金属は、もちろん植物にとっても基本的には有害である。しかし、一口に「有害」とは言っても、問題となるのはその「程度」である。例えば、米にカドミウムが混入してしまうというのは、見方を変えればカドミウムがある程度存在していても、イネという植物は正常に実を付けてしまうということを意味している。もしイネが低濃度の重金属で障害を受けるとするならば、不健康なイネができるはずである。ところが、実際には少々カドミウムが入っていてもイネは見た目どうもない。どうもないから収穫され、基準値さえクリアしていれば売り物となる。しかし人間にとって米に混入したカドミウムは有毒である。つまり、植物は人間に比べてカドミウムに対する感受性が低い、言葉を変えると「カドミウムに強い」からこの様な問題が生じるのである。

因みに厚生労働省国立医薬品食品衛生研究所は、1977年から2001年度にわたり日常食の汚染物質の摂取量調査を行っており、2001年度の調査結果によれば、日本人の日常食からのカドミウムの摂取量は1日29.3mgで、この10年間ほとんど変わっていないということである。一方で、このカドミウムの摂取量をWHOなどの合同食品添加物専門家会合で定めた暫定耐容摂取量と比較すると、カドミウムはヒトの体重1kg当たり1週間7mgまでと定められていることから、体重50kgの人は1日50mgが暫定耐容摂取量になる。つまり、日本人の食品からのカドミウム摂取量は、暫定耐容摂取量の約6割に当たる。なお日本では、主食であることから米からのカドミウム摂取は、食品からの全カドミウム摂取量の約2分の1にも相当する。

参考までに国際基準例がどうなっているかを見ると、予備的な段階では、米1kg当たりに含まれるカドミウムの上限許容量を0.2mg (=0.2ppm)とする案が提案されていた。しかし平成16年3月の食品添加物・汚染物質部会において、上限許容量を0.4mgとする案に変更し、さらに検討が進められている。

3. 植物がカドミウムに強いなら・・・

カドミウム汚染土壌をきれいにする方法としてすぐ出てくるのが、「汚染土壌を削り落としてどこかに移動する」という解決策である。しかしそれでは、その汚染土壌をどこへやるのか、あるいは土をそのまま浄化したらいったい1トン当たりいくらのお金がかかるのか、といった諸問題が出てくる。狭い範囲で高濃度の汚染ならばそれも可能であろうが、現実の問題となる汚染は低濃度で広範囲であるから、結論としてやはりこれは実用的ではない。

この問題の解決法の一つとして、「植物がカドミウムに強いならば、いっそのこと植物を用いて環境浄化をしてしまおう」というアイデアが出てきた。これが、植物による環境浄化技術、「ファイトリメディエーション」である。図1にそのイメージ図を示す。ファイトリメディエーションは、植物の持つ本来の機能を利用した環境浄化法であり、実際にこの浄化プロセスを動かすのは太陽エネルギーである。基本的には水さえやってあげばいいので、経済的に安いというのがこの方法の一つのセールスポイントである。もちろんデメリットもあるが、これは講演で解説する。ここではファイトリメディエーションについてもう少し説明を加えたい。

琵琶湖の水質をきれいにしているものに、湖岸に生えている葦がある。このように、そこにあるがままの植物を使って環境がきれいになるならば言うことはない。しかし、自然の持つ浄化力にはおのずと限界があり、それを越えてしまったから現在の汚染が存在するのである。つまり汚染地区の多くでは、自然の自浄能力が既に越えられた状態にあると思われる。しかも今後さらに増え続ける人類とその経済活動の前で、環境汚染はその深刻さを深めこそすれ、天然の力をもってこれを軽減する方にはおそらく行かないだろう、というのが私の考えである。人口は増え続けても生存するための地球上のスペースは変わらない。しかも、人間誰も高い質の暮らしをしたいのであり、それはそのまま環境に付加を与えることになる。

以上のような状況の中、現在の技術レベルをもって、重度のかつ複雑な汚染に対して植物を用いた浄化対策を考えるならば、やはり遺伝子操作技術の応用に頼らざるを得ない、というのが現実であろうと思う。植物の遺伝子操作に関しては、本講演会の後半で時間をとってできるだけ分かりやすく説明しようと思うが、環境汚染に対する遺伝子組換え植物を考える場合、まずどういった遺伝子を用いたらよいかの問題となる。我々はその一つの方向性として、ABCトランスポータ遺伝子といわれる一群の遺伝子に着目した。

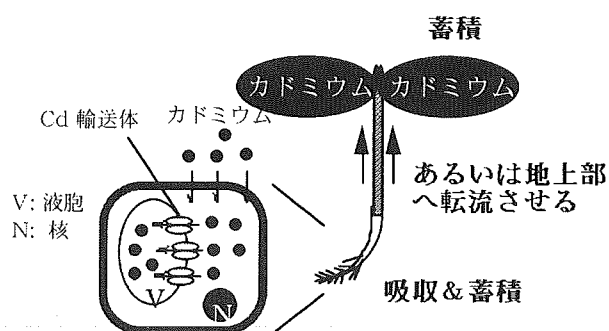


図1. カドミウム輸送体蛋白質を用いたファイトリメディエーション

4. ABC トランスポータとは

ABCトランスポータは、ATPの加水分解エネルギーを利用して、物質を膜を通して輸送する膜タンパク質の一大ファミリー(ABCスーパーファミリー)である。ABCとは、ATP-binding cassetteの略で、分子内にATPを結合するドメインを持っており、そのアミノ酸保存性が高いことからこのように呼ばれる。

図2の下には、その生体膜上の推定構造を示した。ここに表したように、ABCトランスポータの典型的なものは膜を10数回も貫通している蛋白質で、その一方にABCの部分(ヌクレオチド結合領域とも言われる)を有している。この構造において、左半分と右半分が互いに類似しているため、ちょうどユニットが2つタンデムに並んだようになっている。この膜貫通領域が束のように集まり、膜を通して物質を運ぶ役割を果たしていると考えられている。輸送のモデルを図2の上を示した。細胞の中にある物質(星印で示した)が、このトランスポータ蛋白質に認識されると、その脇に結合して

いた ATP が加水分解され、そのエネルギーを使って、物質は膜の内側から外側に向かって運ばれる。ちょうど、ポンプがガチャガチャと、こちらから向こうへ物を運んでいるようなイメージととらえてもらったら分かりやすいと思う。

因みに、ABC トランスポータは、バクテリアから人に至るまで、全ての生物に存在するとされ、様々な働きをしている。ヒトの例で有名なのは、癌細胞である種の ABC トランスポータが多く発現すると、細胞内に入ってくる抗癌剤をこれが全部外に汲み出してしまうため、薬が癌に効かなくなるという現象である。この場合の ABC トランスポータは癌治療を妨げる「悪役」になっているが、多くのヒト ABC トランスポータ分子は、生命活動が正常に働くように機能している。バクテリアなどでは、逆に栄養を細胞の中に取り込もうとするときにこの種のトランスポータが働くことが知られている。植物においては、ABC トランスポータの働きは未だ不明の部分が多いが、生体異物の解毒作用に加えて、生育や体の形を形成するプロセスに必須な植物ホルモンの輸送などに関与することが明らかにされつつある段階である (図 3)。今この領域は、植物研究の中でも最も競争が激しくなっている分野の一つでもある。

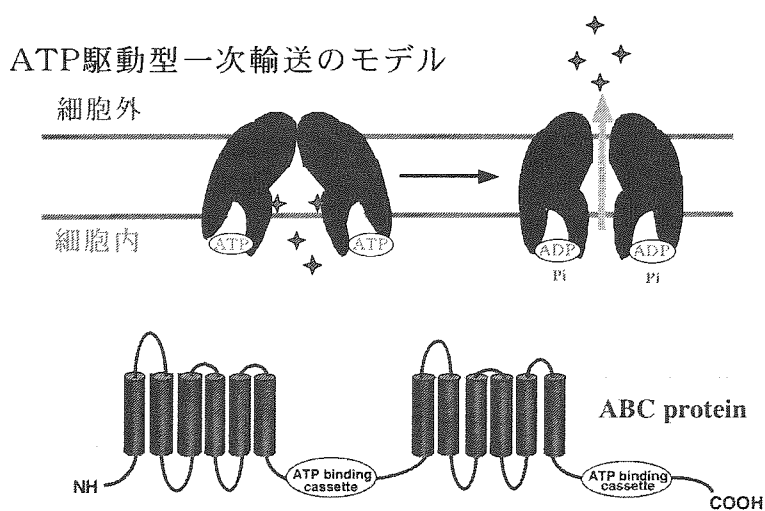


図 2. ABC タンパク質の構造と輸送のモデル

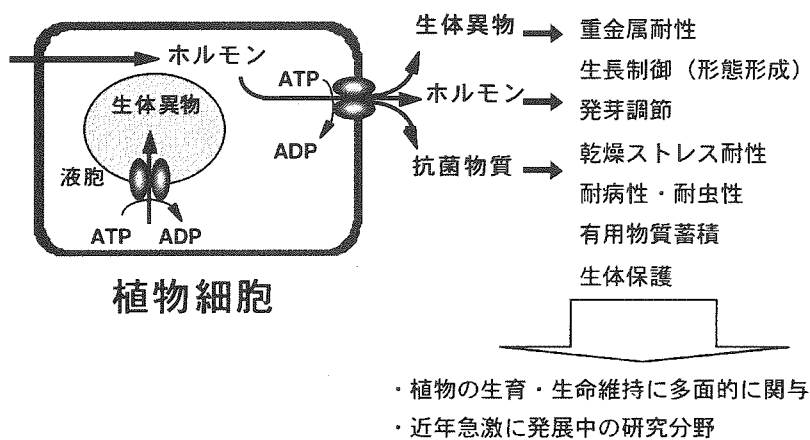


図 3. 植物における ABC トランスポータの役割

ABC トランスポータは種類が多く、その構造上の特徴からいくつかのグループに分けられている。我々は、ABC トランスポータの中に重金属を運ぶものがあることに注目した。これまでいくつかの分子で重金属の輸送が知られているが、最初我々が実験に用いたのは、MRP (multidrug resistance-associated protein) と呼ばれるグループに属する分子 hMRP1 である。このグループに属する ABC トランスポータは、グルタチオン依存的に有機物質だけでなくカドミウムも輸送することができるという特徴を持つ。グルタチオンは、体内に入ってきた異物を解毒するために、ヒトや植物が細胞内に普通に持っている化合物である。

5. ABC トランスポータを用いた環境浄化の試み

我々は、ABC トランスポータ遺伝子を用いて、植物で物質輸送を改変する技術「輸送工学」により、環境浄化ができないか試みた。つまり、重金属を運べる ABC トランスポータ蛋白を植物細胞で発現させれば、それがカドミウムの組み込をする「分子ポンプ」として機能し、水質および土壌環境中に存在するカドミウムを吸収除去する植物を作成することができるだろう、というのが基本的な概念である。しかも、この ABC トランスポータはカドミウム以外の重金属や有害有機物質をも輸送することができる。一般に遺伝子操作によるファイトリメディエーションでは、単一の汚染に対しては対応できても複合汚染には適さないという弱点が指摘されている。本研究ではこの特性を利用して、ABC トランスポータ遺伝子を用いたファイトリメディエーションにより、複合汚染を浄化できる植物の創出を試みた。うまく働けば、有機系有害物質である PCB やダイオキシンのような汚染物質に対しても、この形質転換植物は浄化能力があるかもしれないとの可能性も考えてのことである。

遺伝子を導入するに当たっては、どの植物を使うかを考えた。ホスト植物としては、最初の試みであるため、形質転換や膜分画の容易なタバコをモデルに選択し、hMRP1 遺伝子導入タバコを作成した。遺伝子レベルの解析をしたところ、実際にタバコに導入した hMRP1 遺伝子はきちんと発現していた。また哺乳類の hMRP1 蛋白質が期待通りタバコ細胞の液胞膜に存在することを確認した。そのタバコの様子を示した写真が図4である。

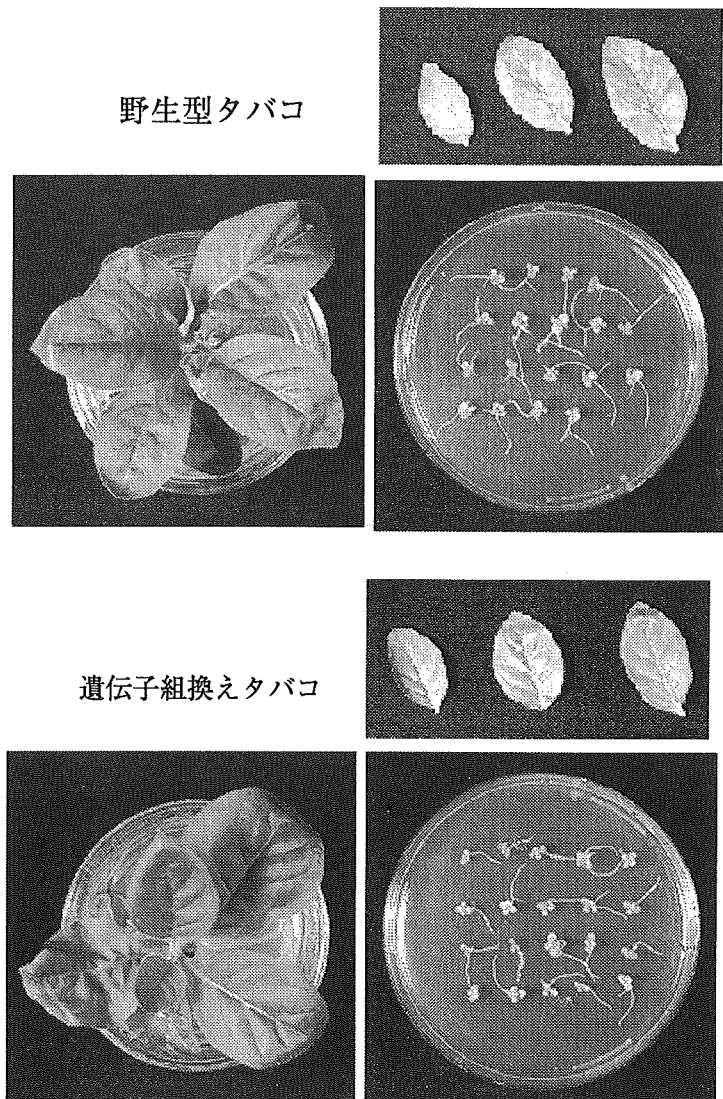


図4. ABC トランスポータ遺伝子の導入されたタバコ

写真で示す通り、発芽の様子、植物体の形、葉の数、生長の度合いなど、外見的に野生型のタバコと全く変わらない組換えタバコができた。この hMRP1 を発現しているタバコの培養細胞を用いて、カドミウム耐性を調べた。すると、野生株に比べて、形質転換タバコはカドミウムに耐性があること、しかも細胞の中に野生株より効率良くカドミウムを蓄積できることが明らかとなった。

次いで、有機物質に対してはどうであろうかと考え、DNA の複製阻害をする薬剤であるダウノルピシンを与えてみた。すると、この hMRP1 発現タバコは、ダウノルピシンに対しても高い耐性を示し、やはりこの薬剤を細胞の中、特に液胞の中に蓄積することが認められた。図5は、ダウノルピシンがオレンジ色の蛍光を持つことを利用して、蛍光顕微鏡で観察したタバコ細胞の写真である。細胞の中にダウノルピシンの蛍光がたまっているのが認められる。

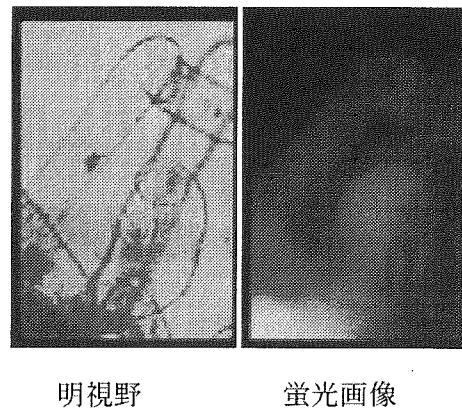


図5. ダウノルピシンは hMRP1 発現タバコの液胞に貯まる

6. カドミウムを蓄積した植物をどうするか

以上のように、MRP1 発現タバコ培養細胞は、ダウノルピシン等の薬剤や重金属であるカドミウムに対して耐性を示したが、この時培地に残存するカドミウム含量を追跡したところ、培地のカドミウムをより効率良く吸収できることが示された。このことは hMRP1 が分子ポンプとして細胞外のカドミウムを液胞内に効率良く運んでいることを示している。今後は再分化植物個体を用い、モデル土壌におけるカドミウムの吸収効率を調べる予定であるが、これがうまく行ったらとして、ではカドミウムを吸収した植物をどうするのであろうか。

重金属は分解による解毒が不可能であるため、一度回収したら、酸などで安定化させて保管するか、再利用するしか方法がないと思われる。図6には、重金属を蓄積した植物を回収し、重金属の再利用を想定した場合のスキームを示している。もちろんコスト面から考えれば、現時点では少なくとも、重金属の回収再利用にメリットはない。しかし、私は経済原理に反してでも、植物から重金属を回収する技術を確立し、リサイクルする方向で研究は進められねばならないと考える。植物を利用した重金属の生体濃縮はコストがかからない。この様に植物は低濃度だが広範囲の汚染土壌から低コストで重金属を回収できる点で、環境浄化に資することができるかと期待している。

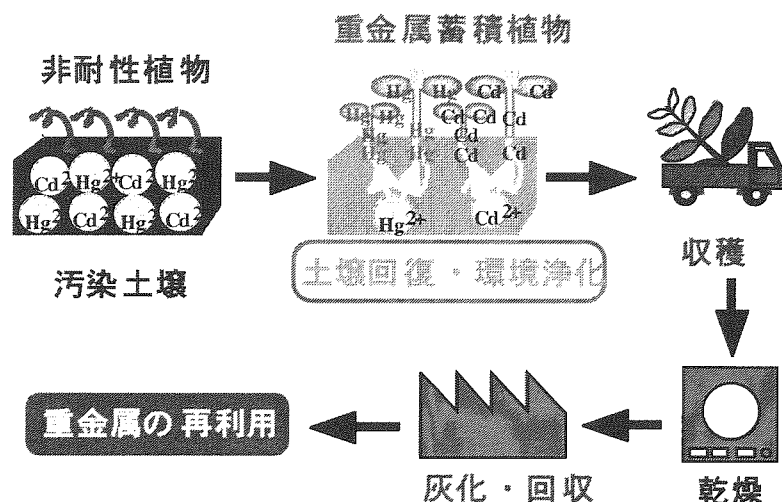
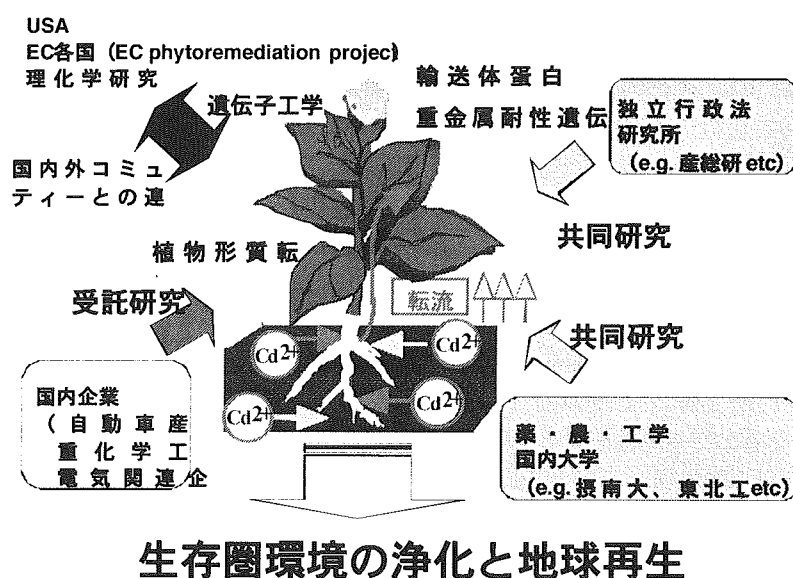


図6. 環境浄化植物と金属のリサイクル

7. 人類と地球の共存に向けて

環境浄化型植物の作出研究は、まだその緒についたばかりである。実用化に即したファイトリメディエーションにおいては、さらに用いるトランスポータ遺伝子の種類、発現プロモータの改変やホスト植物の選択など様々な発展性があり、非常に大きな研究分野へと広がるポテンシャルを有している。ただし、植物を用いる限り、環境の浄化には、それなりの時間がかかることを理解してもらわねばならない。人間が100数十年かけて汚してきた地球である。その浄化に時間がかかるのはやむを得ないと考えらるべきであろう。大切なのは浄化活動を継続することである。21世紀の生命科学研究において、環境問題は益々重要な位置を占めるようになると予想される。我々も本領域研究の更なる発展に寄与していきたい。



参考文献

- 1) 矢崎一史：高等植物におけるABC蛋白質スーパーファミリー：その多彩なメンバーと機能ポテンシャル バイオサイエンスとインダストリー, Vol. 60, p. 17-22 (2002).
- 2) 矢崎一史：ABCトランスポーター、「植物の膜輸送システム 植物細胞工学シリーズ18」（監修：加藤 潔、島崎研一郎、前島正義、三村徹郎）、秀潤社p. 119-128 (2003)
- 3) 土反伸和、矢崎一史：植物ABCタンパク質スーパーファミリーの多様性生化学，印刷中
- 4) N. Shitan, I. Bazin, K. Dan, K. Obata, K. Kigawa, K. Ueda, F. Sato, C. Forestier and K. Yazaki: Involvement of CjMDR1, a plant MDR-type ABC protein, in alkaloid transport in *Coptis japonica*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 100, p. 751-756 (2003).
- 5) K. Terasaka, K. Sakai, F. Sato, H. Yamamoto and K. Yazaki: *Thalictrum minus* cell cultures and ABC-transporter. Phytochemistry, Vol. 62, p. 483-489 (2003).
- 6) K. Yazaki: Natural Products and Metabolites, The Handbook on Plant Biotechnology (Edited by Christou, P. and Klee, H), John Wiley & Sons, P. 811-857 (2004).

大型レーダーで高層大気の謎解きに挑む

京大生存圏研究所 深尾昌一郎

概要

高度1万メートルを越える高層の大気はかつて目に見えるものが何もない静寂の世界と考えられていた。しかしこれに電波を当てるとその姿が鮮やかに映し出される。電波を用いるレーダーが捉えた高層大気は「波」が激しく渦巻く世界であった。地球環境変動にも深く関わっている。

1. 大気と電波とレーダー

私達の周囲には様々な電波が飛び交っている。それが証拠に至るところで携帯電話が使われている。パソコンで無線ランをやっている人も多く見掛ける。余程辺鄙なところでない限りテレビも映る。その混雑ぶりが目にみえないのは誠に幸いと言うべきである。一方、地球の大気も目には見えない。気象衛星「ひまわり」が写し出す変幻自在の画像は見るものを飽きさせない。しかし、これは雲を写しているわけで、決して背景の大気が見えているわけではない。一体、大気を見ることなど出来るのだろうか？今、大気研究の分野で電波を用いて大気を見る研究が盛んに行われている。大気は一般に、電波が通過(伝搬)する媒体であり、大気自体から強い電波が放射されるわけではない。しかし通過する電波をほんの僅か散乱する。一寸した工夫をすればそれを捉えて大気を調べることが可能となる。『レーダー』という技術を用いるのである。

レーダー(radar)はRAdio Detection And Rangingからの造語とされている。その語源が示すように強い電波を極く短い時間発射(これをパルスという)し、航空機や船舶のような標的に当てて、散乱(又は反射)されて返ってくるエコーを検出する装置である(図1)。標的の方向はエコーの返ってくる方向から分かる。また電波は大気中を光速で伝搬するので、標的までの往復時間を測ると標的までの距離も知ることができる。一方、自動車の速度違反取締りにレーダーが用いられているのは既におなじみであろう。動いている物体に電波を当てるとエコーの周波数が発射電波の周波数から若干ずれる原理(ドップラー効果)を利用したもので、そのずれ(ドップラーシフト)の大きさから物体の動く速度を直接求めることができる。ここで紹介する大気を調べるレーダーも原理は同じである。ただしこのレーダーの標的はレーダー電波が通過する大気そのものというわけである[例えば、深尾・浜津, 2005]。

2. ISレーダー：高層の大気を測るレーダー

地球の大気温度が特徴的な高度変化をしていることはよく知られている。それに対応して下から順に、対流圏(地表～高度約15km)、成層圏(同15～50km)、中間圏(同50～90km)、及び熱圏(同90km以上)と区別される。熱圏では大気の一部が電離していることから電離圏と呼ばれることもある。

大気レーダーの起源は電離圏を調べるレーダーにある。アマチュア無線やFM放送に使われている数10MHz帯の電波を地上から上空に向けて発射するとどうなるか？電波は当然希薄な大気を突き抜けて宇宙の彼方へ飛び去る。しかし電離圏には多数のイオンや電子が存在する。それらが電波により揺り動かされる。とくに質量の小さい電子の揺れ動きは大きい。このため今度は、個々の電子が波源となって電波を散乱することになる。電子のランダムな熱運動のため、散乱される波の位相もランダムとなるのでこの散乱は『インコヒーレント散乱(IS)』と呼ばれる。インコヒーレント散乱の強さはレーダーに照射される個々の自由電子が散乱する波の寄せ集めであり、当然極めて微弱である。1950年代も終わりの頃、この超微弱なエコーが当時の技術レベルで充分検知可能だと考えた若い研究者がいた。米国コーネル大学のゴードン(W. E. Gordon)である[例えば、深尾, 1993]。

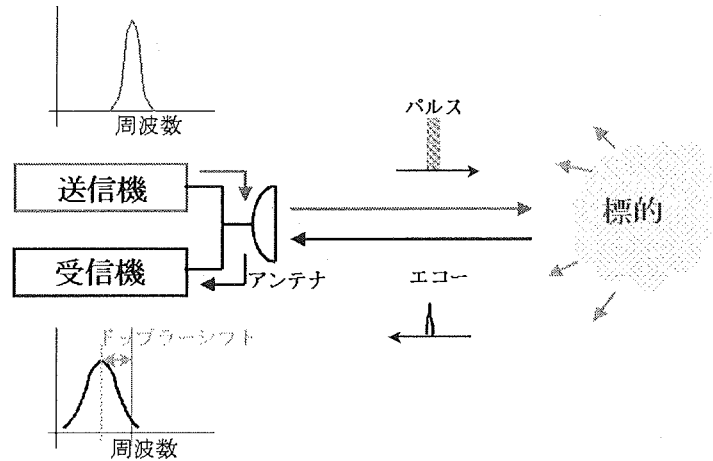


Figure 1: レーダーの原理. 得られる「情報」には標的の位置・方向・速度等様々なものがある.

レーダー電波の散乱の強さは標的の断面積に比例する. 電離圏からのインコヒーレント散乱の場合, 散乱に寄与する自由電子の断面積は航空機や船舶などは較べものにならない程小さい. レーダーが照射する自由電子をすべて寄せ集めても高度 300km でせいぜい 10^{-4}m^2 , つまり直径約 1cm の金属球に相当する小ささである. それを検出するにはそれまで考えられたことがなかったほどの巨大なアンテナと大放射電力が必要である. しかし, 隆盛期にあった当時の米国にとってこれは甚だ魅力的な未知への挑戦であった. 早速ゴードンの予言に従って, 直径 300m のアンテナで放射電力数メガワット (MW) の送信機を持つ大型大気レーダー (これをインコヒーレント散乱レーダー, 略して『IS レーダー』と呼ぶ) がプエルトリコのアレンボとペルーのヒカマルカに建設された. 1960 年代も前半のことである [例えば, 深尾, 1993].

電離圏中の自由電子は熱運動しているので個々の電子のドップラーシフトは様々であり, エコーのスペクトル (ドップラースペクトル) はレーダーの発射周波数のまわりに広く分布する. このスペクトルの形状は電子やそれと電氣的に影響し合っているイオンにより定まるので, 逆にスペクトルを測定してそれらの物理量を推定することができるわけである. 例えば, 電子やイオンの密度と温度, イオンの組成, イオンが運動 (ドリフト) する速度, 中性大気の運動 (風) と温度など様々な物理量がこのスペクトルから一挙に求められる. この原理をもとに電離圏や熱圏の構造と運動の謎が次々解明された. その間に, 米国, フランス, 北欧, グリーンランドなどにも大規模な IS レーダーが続々建設された. 最近, 米国はアラスカ州に巨大な高性能 IS レーダーを建設中である. これらの IS レーダーが熱圏・電離圏研究に果たした役割は誠に大きいものがあった [例えば, 深尾, 1993].

3. MST レーダー：大気を測るレーダー

1970 年代の初めになって, 高度 70~80km から強い散乱エコーが戻ってくるが見出された. このエコーは電離圏中のように自由電子が直接散乱するものではない. 中性大気の乱れ (乱流) により大気の電波屈折率が変動するために起こる散乱である. この散乱はインコヒーレントではなく, 若干のコヒーレント性を持つため『コヒーレント散乱』と呼ばれる.

乱流は様々な大きさを持つ乱渦と呼ばれる渦の集りで表現される. 一般に乱流のエネルギーは大きな乱渦から小さな乱渦に移っていき, やがて粘性のため熱となり消える. レーダー電波の散乱に寄与するものは電波の波長の半分の大きさの乱渦だけである. 粘性でつぶれる乱渦の最小スケールは対流圏では 1cm 位である. しかし, 乱渦の最小スケールは高度と共に指数関数的に大きくなる. 従って高い高度からのエコーを受けるためにはレーダーの波長は出来るだけ長い (周波数が低い) ほどよい. 大気圏全域をカバーするには 50MHz (波長 6m) 程度の周波数が適当とされている. この大気散乱エコーの発見は, 電離圏

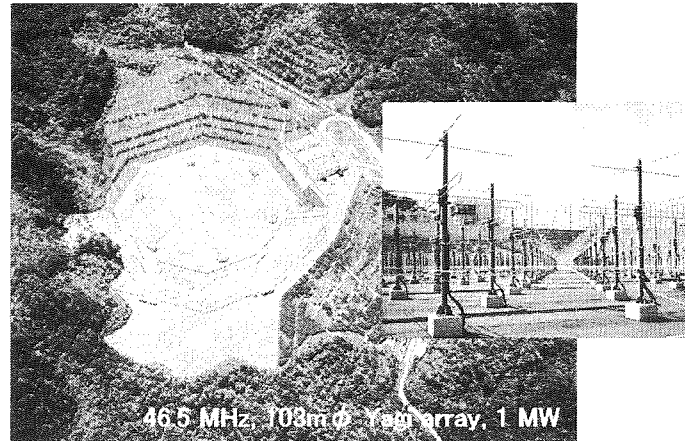


Figure 2: 京都大学 MU レーダーの全景。滋賀県信楽町の国有林内にある。中央の直径 100 メートルの円形内がアンテナアレイ。その周辺の 6 棟の建屋に 475 台の小型送受信機が収納されている。

だけでなくその下に広がる中性の地球大気の観測にも大気レーダーが活躍できる道を拓くものであった [例えば、深尾・浜津, 2005]。

乱渦は背景の大気の流れつまり風に乗って移動 (移流) していくので、これを「トレーサー」と考えてエコーのドップラーシフトから風速の視線方向成分が推定できる。鉛直流を含む風速の 3 成分は、天頂付近の異なった 3 方向にアンテナビームを向けてそれぞれの視線方向速度成分から計算により求めることになる。

上層の大気の流れを測定できるこの技術は、当時まだ十分に理解されていなかった中層大気 (Middle atmosphere; 高度 10~100km の範囲で、成層圏・中間圏及び熱圏下部を含む領域) の解明を目指していた研究者がすぐ着目するところとなった。このための専用の大型レーダーの建設が米国、西独はじめ各国で始まった。このタイプの大気レーダーは中間圏 (Mesosphere), 成層圏 (Stratosphere) の一部や対流圏 (Troposphere) の観測が可能であることから、それぞれの気層の頭文字を取って MST, 或いは ST/T レーダーなどと呼ばれている [例えば、深尾, 1993]。

MST レーダーの標的は電離圏の自由電子に較べて相対的に大きく、しかも距離 (高度) も近いことからレーダーの規模は IS レーダー程大きくする必要はない。アンテナの大きさとして直径 100m, 放射電力は数 100 キロワット (kW) 程度あれば充分とされている。今日では各国の MST レーダーの活躍はめざましく、人工衛星と共に大気観測の強力な計測器として定着している [例えば、深尾, 1993]。

4. 京都大学の MU レーダー

京都大学の我々のグループも大気散乱エコーの発見と前後してこの種のレーダーの建設を計画し、1984 年 11 月、陶器で有名な滋賀県信楽町の国有林内に完成させた [Kato et al., 1984]。このレーダーは MST レーダーとして世界最高性能を誇る他、IS レーダーとして超高層大気 (Upper atmosphere; 高度 100km 以上の熱圏・電離圏) の一部も観測できるので『MU (Middle and Upper atmosphere) レーダー』と名付けられた。直径 100m の円形凹地に八木アンテナ 475 基を設置している (図 2)。50MHz に近い周波数が用いられているのは先に触れたように中層大気全域を観測するためである [Kato et al., 1984; Fukao et al., 1985a, b]。

MU レーダーには他の MST レーダーや IS レーダーにない特徴がいくつもある。なかでも特筆すべきは、MU レーダーには巨大な送信機が見られないことである。そのかわり各アンテナにそれぞれ小さな半導体送受信機が取り付けられている。一個の小型送受信機の発射電力は 2.4kW にすぎないが、アンテナと同数の小型送受信機を同時に働かせることにより 1MW の発射電力を得る仕組みになっている。この結果各ア

ンテナからの発射電波の位相を容易に変えることができる。この位相変化をコンピュータ制御により系統的に行うことでアンテナビーム方向を高速に変えることができる。ビームの方向変化はパルスを発射する毎に、つまり最高 2,500 分の 1 秒毎に可能であるのでほぼ瞬時にアンテナビームを望む方向に向けることができる [Fukao et al., 1985a, b]。現在に至るまで MU レーダーは時間的変動の激しい大気の乱れを観測可能な世界で唯一のレーダーである。

5. MU レーダーが捉えた大気の波

MU レーダーをはじめとする MST レーダーが観測する物理量は本質的にレーダーの真上の高さ方向の一次元量である。しかし、観測を時間的に連続に行える点が大きな特徴となっている。観測の間隔は観測高度にもよるが中層大気では 1~10 分程度である。定常気象観測で用いられる気象ゾンデの放球はせいぜい一日に 2~4 回、気象ロケットに至っては週に 1 回以下であることからレーダー観測の威力を理解していただけるだろう。一般に、中層大気の現象は様々な波動——大気波動——が重なったものとして理解することが出来るので、レーダーで高さ-時間の高分解能二次元データが得られることは、解析に甚だ好都合である。以下では特に MU レーダーが解明に大きな寄与をしたひとつの大気波動を取り上げよう。

有名な葛飾北斎の富嶽三十六景神奈川沖浪裏に描かれた躍動感溢れる波の姿を思い浮かべていただきたい。水面の波は、盛り上がった水面が地球の重力によって下に引き降ろされ、その反作用で隣の水面が持ち上げられることにより水面の高低が波の形で次々前方へ伝わって行くものである。この波は地球の重力により作られる波であることから、『重力波』と呼ばれている。目には見えないが実は大気中にも水の場合と同様の重力波が存在する。例えば山並に平行してきれいな雲の列が生じているのを見ることがある。これは山越え気流が山脈を通り過ぎるときに風下に発生する大気重力波によってできるものである [例えば、深尾, 1993]。

大気重力波は水面の波と異なり、主として対流圏でつくられ大空高く伝搬して行く。高度とともに大気密度が減少するにつれ波の振幅が指数関数的に増大しついには不安定になって壊れてしまう。電波の散乱に寄与する乱流はこうして作られるのである。MU レーダーでも中層/超高層大気の至るところで大気重力波や乱流が観測されている。

では、この種の波は地球大気全体の大規模な運動にとってどんな役割を担っているのだろうか？気流が山を越えるとき、山は抵抗を受け、その反作用として山を越える気流自身にも一種の抵抗が働くことは力学の教えるところである。気流は山だけでなく、例えば雲(上昇気流)の上を越える場合にも抵抗を受ける。気流が受けるこの減速作用は、山や雲に接した空気だけが感じるのではない。発生した大気重力波が上方へ伝搬することから、上空の高いところで吹く風もまたこの減速作用を受けることになる [例えば、深尾, 1993]。

地球規模の大気の運動として高度 60~80 キロメートルあたりを中心に夏は東風(西向きの風)、冬は西風(東向きの風)が吹いていることはよく知られている。しかし、ひとつの興味深い謎は、高度 80 キロメートル付近にいつも風速の非常に弱い層が存在していることであった。太陽による加熱だけで気圧分布が決まるとするとその高度で風速が弱まることはない。実はこの事実の説明に大気重力波が上方に伝搬し、ブレーキとして働いていると言う説が多く気象学者により提唱されていた。MU レーダーで観測される大気重力波について、その背景風の減速量が求められた。その結果、確かに東風が吹く夏には東向きの、西風の吹く冬には西向きの抵抗が発生し、背景風を減速することが明かとなり 10 年来の謎が解明された [Tsuda et al., 1990]。

大気レーダーが本格的な観測を始めた 1970 年代のはじめまで、中層大気は何も起こらない静寂の世界と考えられていた。しかし実態は大気重力波の荒れ狂う世界であることが明らかになりつつある。中層大気中で物質やエネルギーを運ぶ主な担い手がこれらの波であることも明らかになりつつある。しかし、これらの波が一体どこで発生しているのか？上で触れた、山岳のほか、積雲対流や台風、或いは前線などでも大気重力波は作られているらしい。ではその強さや地域による分布は一体どうなっているのか？大気重力波はまだまだ我々を魅して止まない。

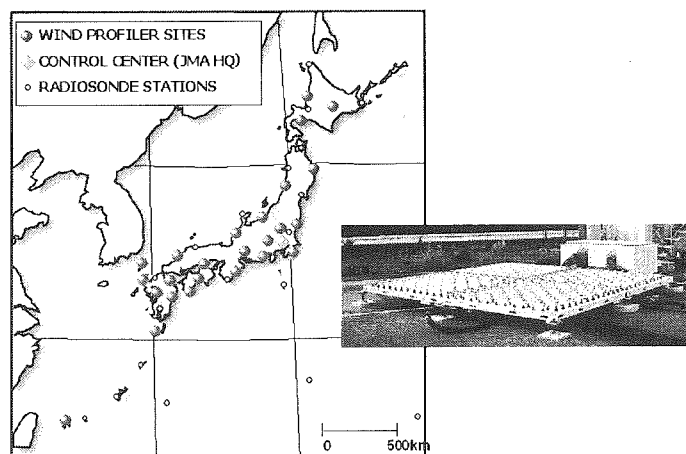


Figure 3: 京都大学で開発された小型大気レーダー。平成 13 年 4 月気象庁ウインドプロファイラ観測網『WINDAS』に採用され全国展開された。

6. 気象予報への応用

地上に固定された大気レーダーで得られるのはレーダー上空の高さ-時間の二次元データであることは上で述べた。それはいわば、スリットカメラで撮る写真にも似ている。一方、我々は、中緯度ではお天気が西から変わることを知っているが、これは気象現象が西から東に向かって移動することによる。地上に固定された MU レーダーの上を気象現象が動いていくわけである。このことを利用して高さ-時間データを現象の東西構造に読み換えその高さ-東西距離断面を推定することができる。同種の現象を幾例も観測してやればこうした断面図が多数得られるわけでその現象の立体的構造が解析される。MU レーダーで目に見えない気象現象の立体構造が解明される訳である。

これまでに、台風の眼や梅雨前線の立体構造、さらに水平スケールが数 1,000km の温帯低気圧に伴った冷たい空気の渦 (寒冷渦) の構造などが詳しく調べられている。MU レーダーが初めて明らかにした対流の鉛直流変動は極めて複雑で、雲が小規模なものから大規模なものに変化 (組織化) して行く過程が克明に捉えられた。将来、これらの成果が集中豪雨の解明に繋がるのではないかと期待されている。既によく分かっているとされてきた諸現象が、新しい観測技術の進歩でその神秘のベールを脱いでゆく [深尾・浜津, 2005]。

一方、日米欧では MST レーダーの観測上限高度や分解能を許せるだけ犠牲にした簡便なレーダーシステムが『ウインドプロファイラー』として開発されている。手軽に風を測れる標準的な可搬機を開発することのほか、これを多数ネットワークして気象予報に用いることが大きな目的である。我が国の気象庁は、平成 13 年 4 月よりウインドプロファイラーによる新しい高層風観測網『WINDAS』の運用を開始した。同庁は全国 18 地点において従来から気球 (レーウィンゾンデ) を用いた高層気象観測を実施している。ウインドプロファイラーはこれを補完するように、全国 31ヶ所に配置され、遠隔制御によって自動観測を行うものである。観測データは 1 時間毎に気象庁本庁に送られ、現業の気象予報モデルの初期値として利用されている。同庁はこれにより予報の難しい局地的な豪雨や豪雪の予報精度の向上を図っている [深尾・浜津, 2005]。

実は WINDAS に採用された 31 台のウインドプロファイラーは我々がほぼ 10 年の歳月をかけて開発した小型大気レーダー (図 3) である [Hashiguchi et al., 2004]。先述の MU レーダーで培った技術で開発されたもので、高度 5 km までの下部対流圏の風を高い精度と分解能で計測できる。大学の研究室で生まれた技術が発展して天気予報という我々の身近な用途に用いられることになったわけである。

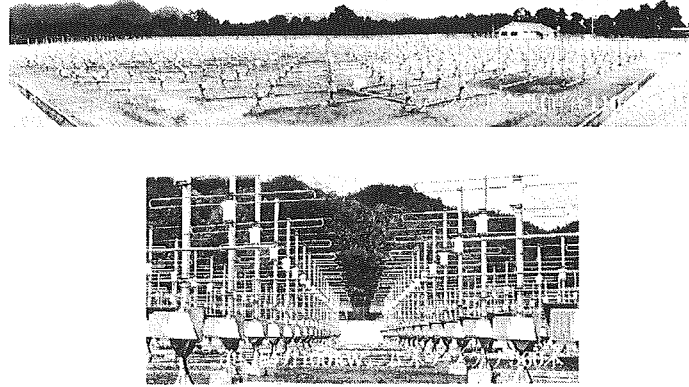


Figure 4: 平成 13 年 3 月赤道直下に完成した京都大学の赤道大気レーダー (EAR)

7. 新しいフロンティア—赤道大気之谜に挑戦

大気レーダーの進歩はまさに日進月歩と言ってよからう。今後も地球環境問題などに対する関心の高まりから、一層広く展開が進められるだろう。特に、地球規模の大気循環の源である赤道域の大気レーダー観測は世界中の研究者の関心の的である。なかでもインドネシア近辺は世界で最高温の海洋に無数の島が浮かぶ『海洋大陸』となっている。その上空は活発な積雲対流に伴う激しい上昇気流によって水蒸気はじめ様々な物質が中層大気へ運ばれる回廊の役割を果たしているらしい。一般に、互いに混じりにくい対流圏と成層圏の大気がインドネシアの上空で混じり合っているわけである。成層圏のオゾン層を破壊するフロンもここから入り込み、成層圏内に広がって南極まで運ばれ、オゾンホールを作っていることがわかっている。赤道域はこのほか大気波動の活動も盛んであり、これらの物質の輸送にも関与しているはずである。海洋大陸域の大気の振舞いは、赤道域にとどまらず地球全体の環境変動に大きな影響を及ぼしているのである。しかしながら未だこの地域での観測データは極めて少ない [例えば、深尾, 1993]。

去る平成 13 年 3 月、我々のグループは同国スマトラ島の赤道直下のプキティンギ市郊外コトタバんに『赤道大気レーダー (Equatorial Atmosphere Radar; EAR)』(図 4) を建設した [Fukao et al., 2003]。赤道域大気の解明を目指して最初に構想されて以来 10 余年を経て漸く実現したものである。このレーダーは MU レーダーほど強力ではないが、それでも赤道大気を地表近くから高度 20km まで一気に調べることができる。あわせて電離圏大気も一部観測できる。EAR は、既に、赤道域固有の大気波動が対流圏と成層圏の境界域で両者の大気の混交に重要な役割を演じている証拠を捉えている。

EAR の運用は同国航空宇宙庁 (LAPAN) と共同で行われている。我が国の大学が外国で運用する初めての大型設備となり、先駆的な学術成果とともに新しい形態の国際共同研究としてその進展が期待されている。

参考文献

深尾昌一郎, 大型レーダーで高層大気を捉える, 科学, 63, 179-186, 1993.

深尾昌一郎・浜津享助, 気象と大気のレーダーリモートセンシング, 京都大学学術出版会, 491 頁, 平成 17 年 3 月.

Fukao, S., S. Sato, T. Tsuda, S. Kato, K. Wakasugi, and T. Makihira: The MU radar with an active phased array system, 1. Antenna and power amplifiers, *Radio Sci.*, 20, 1155-1168, 1985.

Fukao, S., T. Tsuda, S. Sato, S. Kato, K. Wakasugi, and T. Makihira: The MU radar with an active phased array system, 2. In-house equipment, *Radio Sci.*, 20, 1169-1176, 1985.

- Fukao, S., H. Hashiguchi, M. Yamamoto, T. Tsuda, T. Nakamura, M. K. Yamamoto, T. Sato, M. Hagio, and Y. Yabugaki, Equatorial Atmosphere Radar (EAR): System description and first results, *Radio Sci.*, *38*, 1053, doi:10.1029/2002RS002767, 2003.
- Hashiguchi, H., S. Fukao, Y. Moritani, T. Wakayama, and S. Watanabe, A lower troposphere radar: 1.3-GHz active phased-array type wind profiler with RASS, *J. Meteor. Soc. Japan*, *82*, 915-931, 2004.
- Kato, S., T. Ogawa, T. Tsuda, T. Sato, I. Kimura, and S. Fukao, The Middle and Upper atmosphere radar: First results using a partial system, *Radio Sci.*, *19*, 1475-1484, 1984.
- Tsuda, T., S. Kato, T. Yokoi, T. Inoue, M. Yamamoto, T.E. VanZandt, S. Fukao, and T. Sato, Gravity waves in the mesosphere observed with the MU radar, *Radio Science*, *25*, 1005-1018, 1990.

木材から宇宙で使える材料へ

居住圏環境共生分野 畑 俊充

1. はじめに

木材って宇宙で使えるの？

木材は、古くから日本の建造物の主たる材料として使われてきた。法隆寺のように千二百年もの間そのままの姿で存在しているのを見ると強い材料だとも思える。しかし、木材は腐ったり燃えたり曲がったり、弱いと思われる一面もあわせもつ。そんな材料が宇宙で使えるのであろうか。その弱いと思われる弱点を克服すればどうであろうか。

木材由来の木炭。そこに着目してみた。

森林資源が豊富な日本では木炭は古くから燃料だけでなく生活の様々なところで利用されてきた。木炭は縄文時代の終わりごろには存在していたとされ、以来金属の精錬や鍛冶などで商業用の燃料として利用され、近世中期以降は一般家庭にも燃料として入った。

一方、燃料以外の用途ではその硬度を活かした研磨炭がある。研磨炭は、漆器・七宝・印刷用の銅版および亜鉛版などの研磨に使用されてきた。漆器用には、ホオノキ・ニホンアブラギリの白炭が研磨用に、アセビなどの黒炭がつかやし用に用いられる。

現在、木炭をさらに進化させたカーボン材料(バイオマスカーボン)をつくる試みが既に始まっている。カーボン材料は軽量であり、高強度、高弾性、高導電性、耐熱性、化学安定性、対生物劣化性、高生体親和性など、注目すべき機能をもっている。木材から宇宙で使える材料の第一歩である。

著者の所属する研究グループにおける電子顕微鏡学的な研究により、木材からその作り方によって黒鉛化構造やナノダイヤモンドといった新素材ナノカーボンを形成することに成功した。炭素材料は熱に強く、今既に宇宙構造物に使われている。人工衛星の構体やアンテナなどがそうである。木材が、宇宙、航空、エレクトロニクスといった分野での最先端材料に用いられるのもそう遠くない未来であろう。ここでは、木材を炭化することにより生成するダイヤモンド薄膜や炭化ケイ素ナノロッドなど、宇宙でも利用できる炭素材料素材をつくる試みを紹介する。

2. 炭素化とは

一般に、有機高分子化合物が無酸素下で加熱されると、炭素比率の高い結合で構成されたより安定な構造へと移行する。その過程で水素、酸素、窒素および低炭素化合物を遊離し、減量して最終的に炭素単体といえるような物質に変化するが、この変化する現象を炭素化という(炭素材料学会編カーボン用語辞典)。炭素化という言葉は従来から広く使われているが、炭素が炭素以外の原子と反応して炭化物を生成する反応と区別するために、炭化ではなく炭素化と呼ぶことが推奨されている。炭素化により生成される主として炭素からなる物質を炭素化物という。木炭は、木質炭素化物というのが正式な呼び方となるのであろうか。

木質が無酸素状態で加熱され、変化する過程は以下のように分けられる。

(1)炭素化過程：室温から1500℃前後までの、化学反応を主体とした変化

(2)黒鉛化過程：1500℃以上の温度域における3次元規則性の増加と結晶成長を伴う物理的変化

木炭は炭素化過程においてさまざまな顔みせる。学問的にはその炭素化過程をおおまかに熱減成、熱分解、炭素化と区別している。

200℃まで熱処理された木炭は高分子から低分子へ変化する。この状態では、電気絶縁体で、水中にいれると水溶液は弱酸性を示し、またアンモニアやアミンなどをよく吸着する。160℃から500℃の

間でセルロース・ヘミセルロース・リグニンなどが分解してくるが、この過程を熱分解と呼んでいる。炭素化は 500℃から 1800℃での芳香環の生成過程をいうが、この温度領域の中でもとりわけ 600℃～700℃で、木炭の性能に劇的な変化が生じる。例えば、600℃で木材を焼くことで、木炭表面の抵抗は 1 0 10 Ωから 1 0-1 Ωまで急激に低下する。600℃より低い温度で木材を焼くと酸性、高い温度で焼くとアルカリ性となる。そして、600℃で焼いた木炭が、ホルムアルデヒドを最もよく吸着する。600℃というのは、木炭の性質を劇的に変化させる魅力ある温度といえる。1000℃以上に焼くと電気伝導度、電磁波の遮へい性能が大幅に向上する。

さらに加熱を続けると炭素化過程から黒鉛化過程へと進み、芳香環が一定方向に並んでくる現象が生じて、炭素の乱層構造が、部分的あるいは完全に黒鉛構造に変わる結晶化の一種を黒鉛化という。黒鉛には天然のものと、人造のものがあり、黒ないし鋼灰色の金属光沢をもつ。耐熱性・耐衝撃性・耐食性にすぐれ、優れた電気・熱伝導性をもつ。各種の電気機器材料、黒鉛るつぼ、耐火煉瓦、鉛筆の芯などとして広く用いられる(小学館国語大辞典)。黒鉛化のしやすさで、炭素は易黒鉛化性炭素と難黒鉛化性炭素に分けられる。これまで木炭は、無配向な乱層炭素を示す難黒鉛化炭素と考えられていた。この構造は、例えていうと紙をくしゃくしゃにした集合体のようなものである。一方、易黒鉛化性炭素に見られる黒鉛化の構造は、シートを積み重ねたような規則正しい形をしている。最近の研究から、木炭においてもその焼き方によって三次元規則性が生じることが分かってきている。炭化の状態をナノの単位でとらえることにより今後新素材開発への可能性が広がる。

3. パルス通電加熱装置

炭化の方法としてパルス通電加熱法(エスエスアロイ(株)製 VCSPII)を用いた。これは、図 1 に示すように、スギ木炭に 50MPa の圧力を加えながら真空中で直パルス電流を流し固相焼結を行うものである。このとき試料の破断面はきわめて平滑なガラス状の様相を示した。透過電子顕微鏡により観察したところ木炭中に配向性の高い黒鉛化構造を見出した。これは触媒炭化によって黒鉛状の結晶が一方方向に成長してできたものである。スギ木炭の粉末に圧力をかけながら直パルスを加えて加熱することによって、スギ木炭中で炭素原子が規則正しく配向したと考えられる。

さらに、木炭とアルミナの粉末を混ぜ、高圧をかけた結果、2,000℃以下の温度でも図 2 に示すような炭素繊維素材を開発することに成功した¹⁾。1800～2,000℃まで加熱するとアルミナとカーボンが反応し中間体として炭化アルミニウムを形成する。この中間体からアルミニウムのガスとグラファイトへ変化するのので純度の高い炭素素材ができる。この素材は 2,000℃という高温で処理しているため難燃性が高く、腐食しにくい。

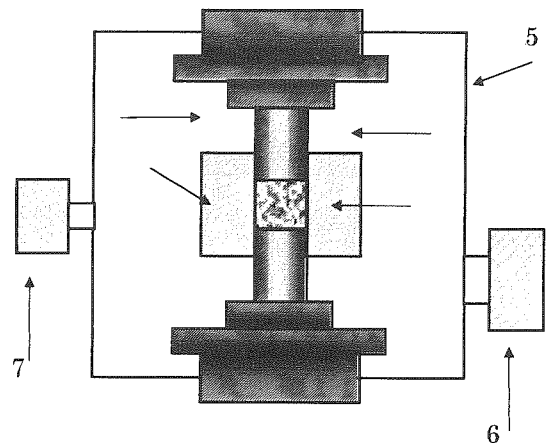


図 1 パルス通電加熱装置 (1, グラファイト型 ; 2, グラファイトパンチ ; 3, 試験体 ; 4, 銅板 ; 5, チャンバー ; 6, 真空ポンプ ; 7, 高温度計)

4. 木質からダイヤモンドの創成

木質廃棄物などを含む木質バイオマスからダイヤモンド状薄膜をもつ、耐磨耗・潤滑・耐食性コーティングなどに応用できる新規木質系バイオマスカーボン材料の開発を目指し、実用化に向けて研究

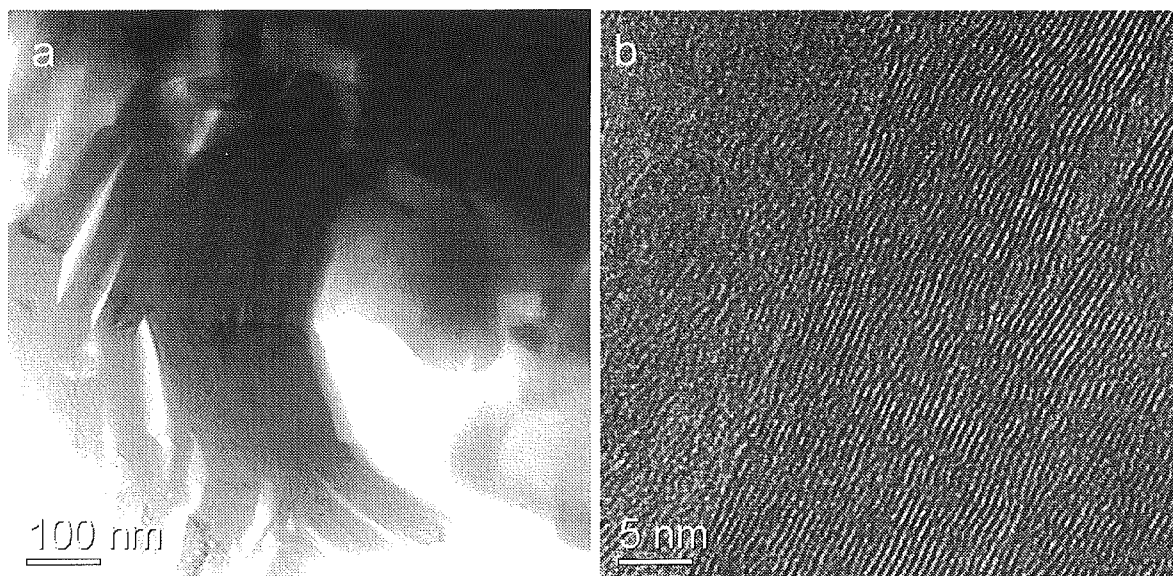


図2. 木炭の黒鉛化¹⁾(1,800°C, 5min, Al₂O₃を20%含む) a) 全体図 b) 黒鉛化

を行ってきた。

1979年に難波らがイオン化蒸着膜法によるダイヤモンド状の炭素膜を発表したが、このような膜をダイヤモンド状薄膜と呼んでいる。通常、ダイヤモンドの合成は、時間をかけて炭素を千数百度の高温で加熱すると同時に、数万気圧という超高压で加圧して行っている。一方、薄膜状ダイヤモンド合成は、一瞬でも合成条件が満たされれば可能であるといわれている。直パルス式熱分解法を用い、アルミニウムトリイソプロポキシドという触媒を所定の濃度で含しんさせた木炭にパルス通電加熱法を適用し、高温での触媒炭化を行う事で木炭表面にダイヤモンド状薄膜を形成させ、木材の高付加価値化をめざした。

パルス通電装置によってあらかじめアルミニウムトリイソプロポキシド溶液を含しんさせた木材粉末の触媒炭化を加圧下で行った。木質炭素化物中のアルミニウムカーバイトの存在が、ダイヤモンド状薄膜の前駆体として寄与する可能性を示唆する結果が得られている。2200°Cという高温で触媒黒鉛化を行ったところ、得られた試験体の表面に、図3に示されるように選択的にダイヤモンド状薄膜が広い範囲に形成されていた²⁾。しかも、数分間の電子線放射によってそれらダイヤモンド構造が消失するという事も明らかとなった。電子線放射下でのウッドダイヤモンド状薄膜消失の過程を調べ、ダイヤモンド状薄膜の消失過程から、その生成機構についても検討を進めている。

5. セラミックスウッドと炭化ケイ素ナノロッド

木質炭素化物は吸着性能や電気伝導度など、炭素化過程において制御することが可能な炭素材料として注目を集めている。スギから作った木質炭素化物は、細胞壁構造の異方性や60%の空隙率を有するにもかかわらず適度な強度をもつ興味深い材料である。しかし現状ではスギから得られた木質炭素化物は、500°C以上の使用において強度低下や酸化が生じるため、限られた用途しかない。他方、炭化ケイ素は高い圧縮強度をもつ上に、高温下での使用が可能であり、近年、炭化ケイ素複合材料に多くの注目が集まっている。

木質炭素化物とセラミックスの両方の特性を併せもつ木質セラミックス複合材料は、エネルギー分野における排気フィルター、化学工業で用いられる触媒担持体、医学分野での生物活性物質の固定などへの使用が可能な新材料である。最近著者等は、この木質セラミックス複合材料の製造過程で、副

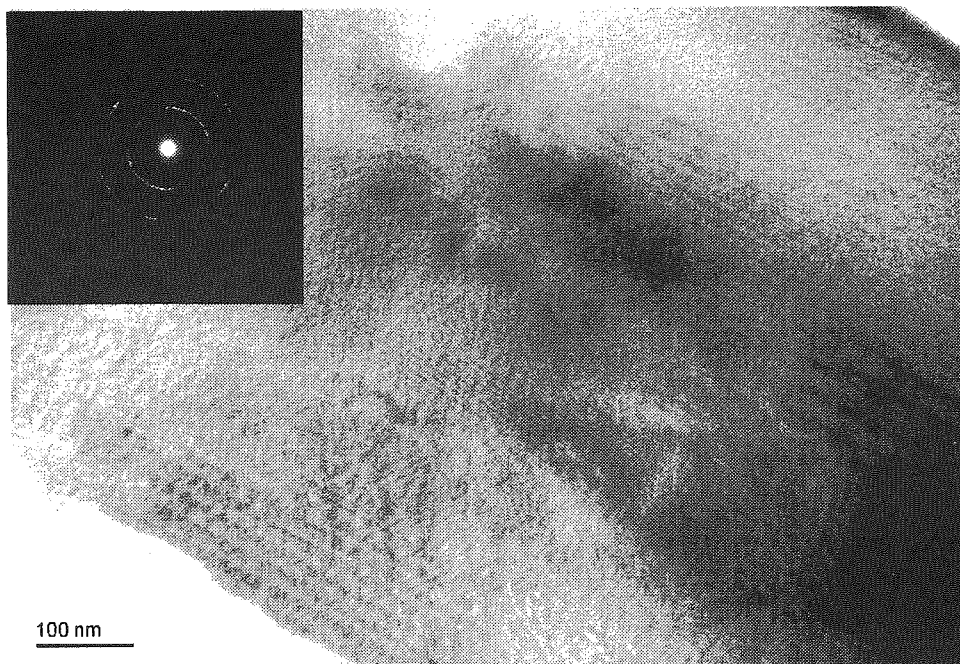


図3. 木材の2200°Cにおける触媒黒鉛化により得られた試験体の表面形成されたダイヤモンド状薄膜²⁾

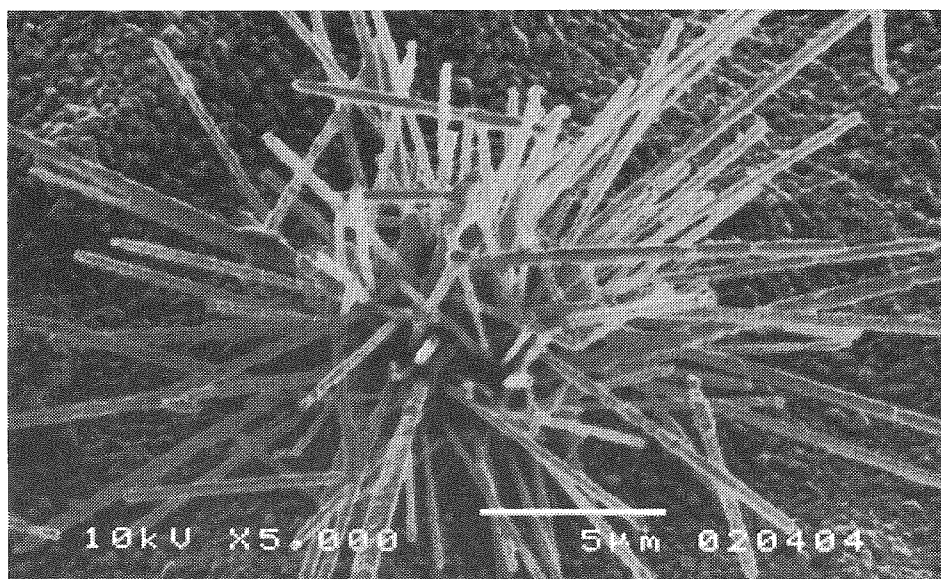


図4. 木質炭化物表面でのSiCナノロッドの成長³⁾

産物として炭化ケイ素ナノロッドが加熱処理の過程で複合材料中に生成することを見出した³⁾(図4)。

厚さ約 20 nm ずつ連続してイオンミリングを行うことによって、厚さ約 60 nm の炭化ケイ素の反応層が、細胞内孔内で壁を均一におおっていることを確認することができた⁴⁾(図5, 6)。また炭化ケイ素は細胞内孔内でランダムに形成されていることが観察された。走査電子顕微鏡による細胞断面の観察から、炭化ケイ素ナノロッドが直径 100~500 nm の多孔体により形成されていることがわかった。炭化ケイ素ナノロッドの形成は、炭化ケイ素膜上の炭化ケイ素核の触媒作用によって形成すると考えられる。透過電子顕微鏡による解析から、炭化ケイ素ナノロッドが(111)方向に沿って成長することを

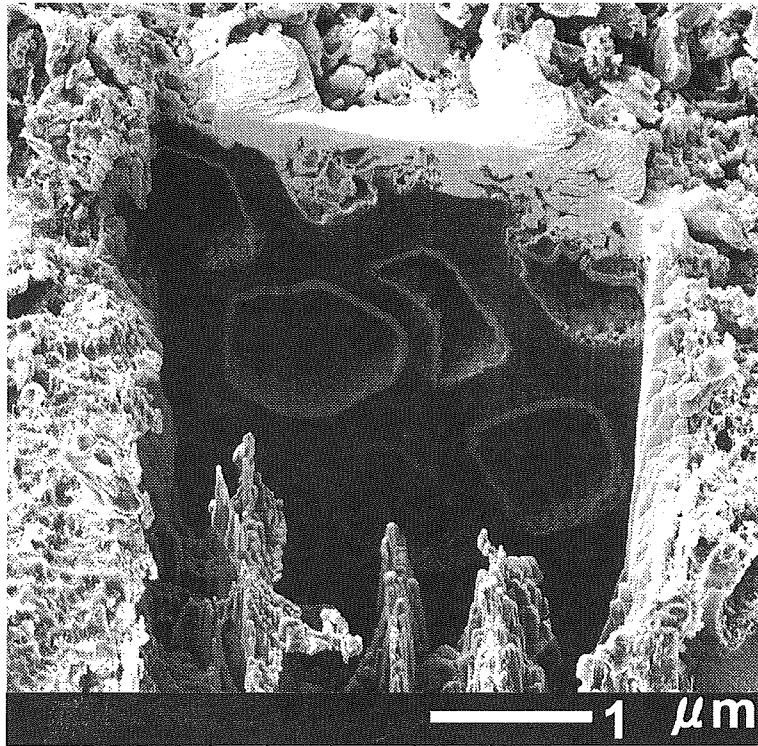


図5 細胞内孔の内壁を SiC 層が覆う⁴⁾

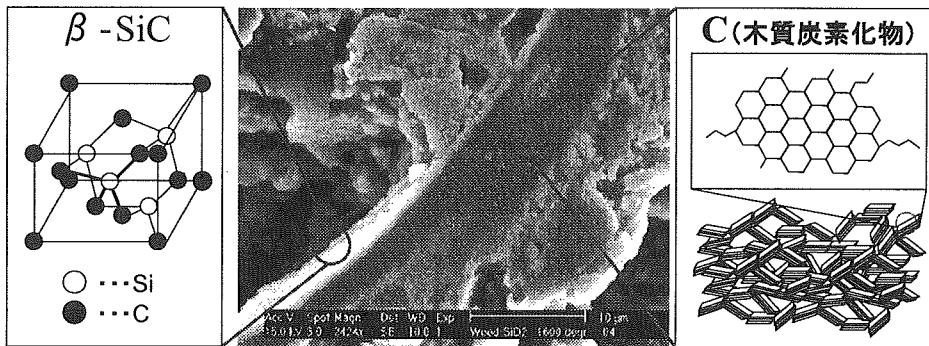


図6 木材からの SiC/C 複合材料の開発⁵⁾

確認した。さらに数層からなるミクログラファイト層が炭化ケイ素ナノロッドの外部表面をおおっていることがわかった。なお、この黒鉛層は電子線放射によるダメージを防ぐ働きのあることが知られている。

6. 宇宙太陽発電システムのためのエネルギー変換材料の開発

炭酸ガスによる地球温暖化の抑制の観点から、エネルギーの有効利用の開発が重要な研究課題となっている。この問題を克服するために、木質素材由来の炭素材料から作られた炭化ケイ素熱電変換ナノ材料を用いて、高温度域で発電効率の高い熱電変換デバイスを作製する。そのためには、まずパルス通電加熱法より作製した炭化ケイ素ナノロッドおよび炭化ケイ素薄膜を含む SiC/C 複合材料の炭化

ケイ素熱電変換ナノ材料への適用方法を確立すること、そして、X線回折装置や電子顕微鏡といった分析装置を用いて機能性発現機構を解明すること、最終的にはその材料を用いてデバイス化を行うことが重要である。ウッドバイオマスを原料に炭化ケイ素熱電変換ナノ材料を開発し、ナノレベルまでの微細構造を解析することによって、高効率のエネルギー変換材料を作製することが可能となり、しいては高い発電効率を得ることが可能となるだろう。

この研究では、木質炭素化物から炭化ケイ素熱電変換ナノ材料を作製し、その熱電特性と機能性発現機構を解明すること、および高発電効率を有する熱電変換デバイスの開発を行うことを目的とする。研究の流れは、①炭化ケイ素熱電変換ナノ材料の熱電特性評価→②機能性発現機構の解明→③熱電変換デバイスの開発、と要約できる。

セラミックス半導体を応用した熱電変換技術は、材料の両端に温度勾配を与えると、電子や正孔が高温側から低温側に移動する現象を応用している。そのため、高温側と低温側で電位差が生じ、閉回路として用いると電流が流れ電力を取り出すつまり発電することができる。最も高い性能指数を示した炭化ケイ素熱電変換ナノ材料を用い図7に示した熱電変換デバイスを開発し電流計により発電量を測定し、最も高い発電量が得られる最適条件を検討することにより発電効率の向上を図る⁵⁾。

木質炭素化物の特長を活かし、宇宙太陽光発電における集光に伴う発熱の問題を解決する材料開発、およびその熱エネルギーを電気エネルギーに変換することが可能な熱電変換技術の開発を目指す。

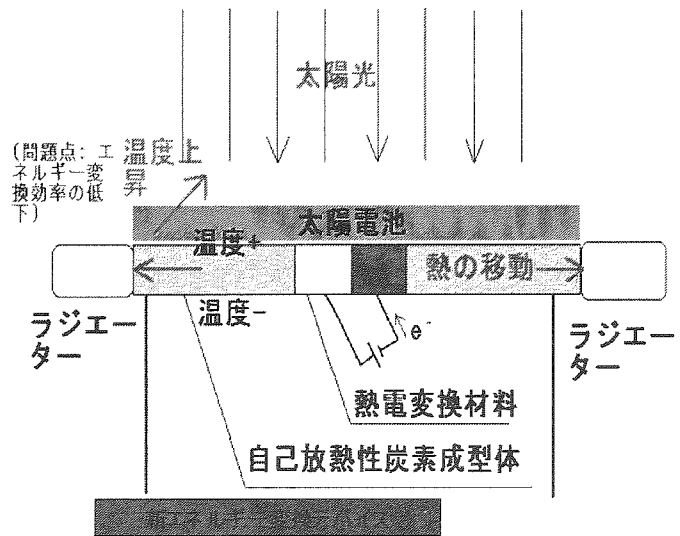


図7 宇宙太陽発電システムのためのエネルギー変換の概略図

おわりに

木質炭素化物はこれまでエネルギー用あるいは吸着剤用の木炭として扱われてきた。しかし、最近の自らの所属するグループの研究により、もともとは異方性の木材であっても加熱速度を変化させることにより均一でナノサイズの微細構造からカーボン構造を自由に設計できることがわかってきた⁶⁾。木材物性においては、セルロースマイクロフィブリルが細胞の基本的な構造を形作りその性質を決定しているが、400度以上に加熱した木質炭素化物では、セルロースマイクロフィブリルの基本的性質が失われ、新たに形成されるナノカーボン構造が炭素化物の物性を左右することがわかってきた。今後は、電子顕微鏡学的な基礎的アプローチのみならず、加熱速度を制御するための装置開発をおこないながら、新規ナノカーボン構造の創成を行う予定である。木材は細胞構造を持つがゆえに複雑で扱いづらい材料であり、そのことが長年にわたり木質資源の循環システム構築をこれまで阻んできた。選択的な熱変換による木材の均質化で、この長年の難問を一挙に解決することができるのである。木材の代表的な欠点といわれている、燃える・狂う・腐るといった性質を熱変換によって完全に克服したいと考えている。

木質科学と電子顕微鏡学・複合材料学・炭素材料学・応用分析的熱分解学・材料科学などの分野とを融合させ、環境共生という観点からも木質資源の高度な有効利用を図ることが、宇宙で使えるような木材の開発に結びつくだろう。

参考文献

- 1) T. Hata, K. Nishimiya, P. Bronsveld, Tomas Vystavel, J. De Hosson, H. Kikuchi, and Y. Imamura, Electron Microscopic Study on Catalytic Carbonization of Biomass Carbon: I. Carbonization of Wood Charcoal at High Temperature by Al-Triisopropoxide, *Molecular Crystals and Liquid Crystals* vol.386 pp.33-38 (2002)
- 2) T.Hata, T.Vystavel, P.Bronsveld, J.DeHosson, H.Kikuchi, K.Nishimiya, Y. Imamura, Catalytic carbonization of wood charcoal: graphite or diamond?, *CARBON* 42(5-6) 961-964 (2004)
- 3) V. Castro, M. Fujisawa, T. Hata, P. Bronsveld, T. Vystavel, J. DeHosson, H. Kikuchi, Y. Imamura: Silicon Carbide Nanorods and Ceramics from Wood, *Key Eng. Mat.* 264-268, p.2267-2270 (2004)
- 4) T. Hata, S. Bonnamy, P. Bronsveld, V. Castro, M. Fujisawa, H. Kikuchi and Y. Imamura: Formation of Silicon Carbide Nanorods from Wood-Based Carbons, Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures (in print)
- 5) M. Fujisawa, T. Hata, P. Bronsveld, V. Castro, F. Tanaka, H. Kikuchi, T. Furuno, Y. Imamura: SiC/C composites from wood charcoal by pulse current sintering with SiO₂, *Electrical & Thermal properties*, *Journal of the European Ceramics Society*, 24/13 pp. 3575-3580 (2004)
- 6) F. Kurosaki, K. Ishimaru, T. Hata, P. Bronsveld, E. Kobayashi, Y. Imamura, Microstructure of Wood Charcoal Prepared by Flash Heating, *CARBON* 41(15) 3057-3062 (2003)

宇宙太陽発電所 SSPS による生存圏の持続的な発展に向けて

篠原 真毅

1. はじめに

人間は宇宙へと進出する必要があるのであろうか。宇宙は確かにロマンがあり、人類最後のフロンティアと言われている。ブラックホールなどの宇宙の神秘には胸踊り、通信衛星や気象衛星はいまやなくてはならないものである。しかしその一方、最新のロケットの打ち上げ費用は1機80億円(日本のH-IIAロケット)、人工衛星は1機400-800億円の開発費用がかかるといわれている。特に日本では最近の平成不況と続いたロケットの失敗のせいもあり、宇宙開発の是非を問われるようになっている。たった数十人の冒険家や技術者を宇宙へ送り、日常の少しの便利さの向上のために何百億円、何千億円をかける意味があるのであろうか。

宇宙開発には重大な意味はあるのである。近視的にはこのような多大なコストの割りにリターンが少なく見える宇宙開発や宇宙科学は意味がないように思える。しかし、今地球は真綿で首を絞められるがごとく少しずつおかしくなっている。しかもその首を絞めているのは私達人類以外の何者でもないのである。地球上に人類が今の勢いで増え続ける限り、地球は破滅へ向かい続ける。宇宙空間を利用することは人類を地球の重力から解放し、生存のためにその活動を広げることを意味するのである。私達はこれを「生存圏の持続的な発展」として捉えている。すぐにリターンが返らない宇宙開発は、近未来の人類や地球のために重要な意味を持っているのである。

地球環境問題の根本は人間の欲であろう。人間の欲望はおそらく抑えることができない。性善説を信じればいつか欲を減らすことが可能となり、人類がその生存圏を宇宙空間まで広げずとも地球と人類の共存は可能なようにも思える。しかし、それがいかに難しいことであるかはこれまで人類数千年の戦争の歴史を見れば明らかであろう。「地球に優しい」という免罪符で自らを誤魔化すことなく自分の欲を認めること、そして欲との共存を図りながら自滅しない方法を考えることが最良である。つまり、拡大する欲望、特にこれからは伸び行く発展途上国の人間の欲望、を満たしながら地球環境が破滅しないようにしなければならないのである。今後も人間はエネルギーを使い続け、快楽を追い求めると考えたほうがよい。

伸び行くエネルギー需要を石油に代わる天然ガスや石炭といった化石燃料に頼ることは、地球温暖化問題を悪化させることになる。大気中の温室効果ガスの増大が地球を温暖化し自然の生態系等に悪影響を及ぼすおそれがあることを背景に、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを目的として、1992年の地球環境サミットで署名のため開放された気候変動枠組条約は1994年に発効され、2001年3月22日現在、我が国を含む186カ国が締結している。この条約の目的を達成するため1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)では、先進国及び市場経済移行国の温室効果ガス排出の削減目的を定めた京都議定書が採択された。この議定書では先進国等に対し、温室効果ガスを1990年比で、2008年から5年間で一定数値(日本6%、米7%、EU8%)を削減することが義務づけられている。この京都議定書は最大のCO₂排出国であるアメリカが脱退を表明するなど、まだ予断を許さない状況にある。仮に次の大統領選挙で民主党が勝利したとしてもアメリカの脱退の方針は変わらないと言われている。京都議定書が定めているのは即効性の高い“early action”であるが、中長期的に環境問題を解決する手法“delay action”に関する取り決めが欠如している

といわれている。アメリカは別に環境問題を考えていないわけではなく、この”delay action”に重きを置いた政策を取っているために京都議定書から脱退したと考えられている。京都議定書に沿う CO₂ 削減と、世界の経済成長を両立させる為にはクリーンな新エネルギーの開発が必須であり、これから述べる宇宙太陽発電所 SSPS はまさにその”delay action”であり、その研究は非常に重要となっている。

2. 宇宙太陽発電所 SSPS

SSPS(Space Solar Power System)は宇宙空間で超大型の太陽電池パネルを広げ、太陽光発電によって得られる直流電力をマイクロ波に変換して送電アンテナから地球や宇宙都市の受電所に設置されるレクテナと呼ばれる受電アンテナへ伝送し、再び直流電力に戻す方式の発電所である。SSPSは宇宙空間に浮かぶ発電所から地上に電力を送らなければならないため、無線による電力伝送技術が重要となってくる。SSPSは上空36,000kmの静止衛星軌道にあり、常に地上から見えている。受電側ではマイクロ波をレクテナと呼ばれる整流アンテナで再び電気エネルギーに再変換して利用する。マイクロ波はISMバンド(産業・科学・医療用バンド)である2.45GHzや5.8GHzの周波数を用いることが検討されている。SSPSは宇宙空間で太陽光発電を行い、地上へマイクロ波送電するシステムであるため、他の新技術のように越えなければいけない技術ハードルはほとんどない。唯一発電所としてのビジネスモデルを考えた際に必要な技術の研磨及び量産性が求められている。

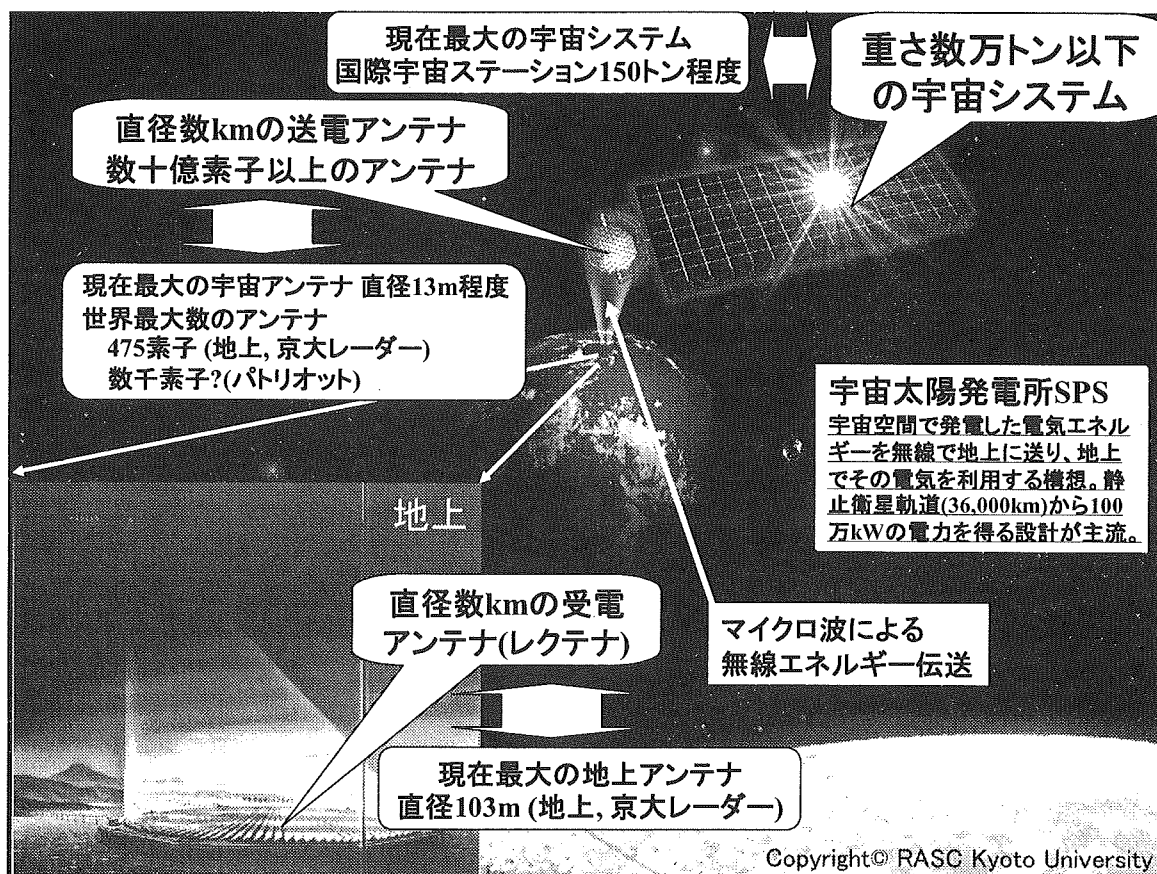


図1 宇宙太陽発電所 SSPS の概念図と特徴

SSPSは、地球上のエネルギー不足を補い、放射性廃棄物問題を抱える原子力発電所の不足を補い、環境破壊や地球温暖化をもたらす火力発電所に代わる大型基幹電力供給源となり得るものとして1968年に米国のピーター・グレーザーによって提案された¹⁾。今日深刻になっている温暖化の元凶である

炭酸ガス排出抑制の切り札としての価値は当時認識されていなかったが、SSPSは温暖化ガス抑制に大きく貢献する発電方式でもある。例えば石油火力発電のCO₂排出量は建設時に2g-CO₂/kWh、運用時に844g-CO₂/kWhであり、原子力発電のCO₂排出量は建設時に3g-CO₂/kWh、運用時に19g-CO₂/kWhであるのに対し、SPSのCO₂排出量は建設時に20g-CO₂/kWhとなるが、運用時には0となるという試算がなされている²⁾。建設時のCO₂排出量は既存発電電力による太陽電池生産等によるものであるため、SPSで発電した電力で太陽電池を生産し、新たなSSPSを生産する場合は11g-CO₂/kWhとなる。

また、エネルギー源としてSSPSを考えた場合も、有用である。人類活動による地球生態・経済系への影響の長期的な動態を表すモデルとしてMITのForresterやMeadowsたちにより約25年前に開発されたワールドモデルがある。「ローマクラブからの警告」として有名なモデルであるが³⁾、このモデルでは、特別な制限無しに現在までの人口、経済の成長が続けば、主として資源の枯渇により、21世紀前半には地球生態・経済系は成長の限界を迎え、その後は衰退しかないと示されている。このモデルに対し、エネルギーコスト解析に基づいたSSPSを含むワールド・ダイナミックス・シミュレーションモデルを作成し、SPSが地球生態・経済系に及ぼす影響が評価されている⁴⁾。論文によると、SSPSへのエネルギー投資が少ない場合は、SSPSの成長が地球上でのエネルギー消費の成長を支えきれないので、成長の限界を回避できないが、SSPSへの投資が大きい場合は、SSPSの成長が地球上でのエネルギー消費の増加を充分支えることが可能となり、地球上の人口、資本の継続的な成長を可能となるとされている。SPSのエネルギー投資が大きい場合、SSPS自体から地球への供給されるエネルギーによってSPSの成長が増進されるという“自己増殖状態”となり、一度この状態が達成されると、地球上での成長の限界は完全に回避できることが、シミュレーション結果によって示されている。

地上太陽光発電は、地上においては当然可能であるが、太陽光の大気及び気象状態による減衰、日変化、季節変化等に基づく供給の不安定性等の問題があり、現在の火力や原子力発電に代わる代替基幹電力には成り難い。これに対し、宇宙空間で静止衛星軌道上での発電は、大量の資材の宇宙への運搬、宇宙における大規模建設作業と保守運用、環境問題対策、通信網への電磁障害対策等の技術開発を必要とするにも関わらず、春分と秋分前後の短期間の地方時真夜中の短期間と、月等による日陰、及び地球公転軌道に起因する極僅かの太陽輻射強度の年変化以外、安定した太陽エネルギーが期待されるため、基幹電力として有望である。太陽電池に入射する太陽光エネルギー密度は、大気反射のため、地上の太陽光エネルギー密度に比べ宇宙でのそれは1.37kW/m²と、1.4倍強く、日照時間は宇宙では地上の4~5倍あるため、発電量を地上とSPSで比較すると5.5~7倍の差がある。

これまで、日米を中心に様々な技術検討が行われてきた。多数の人数が参加した詳細なSSPSの概念検討としては以下のようなプロジェクトが過去に存在する。

・ 1977-1980年 NASA/DOE SPS 技術的適合性検討とリファレンスシステムの設計 (アメリカ)⁵⁾

その後のSSPSの検討の方向を定めた最も詳細なモデルの概念設計プロジェクト。1980年度予算には2500万ドルの調査費が認められている。リファレンスシステムは重量約5万トン、大きさ約10km×5kmの太陽電池で発電するSSPSから2.45GHz、500万kWの電力を送電する。マイクロ波送電はクライストロンをベースに検討されている。送電アンテナ直径1km、受電アンテナ10km×13km、太陽電池と送電アンテナは分離され、宇宙空間で集配電を行うモデルである。SSPS60基で全米の全発電量をまかなうという試算もなされていた。非常に巨大なモデルであり、発電所として売電を考えた場合に採算が合わないとされて以後アメリカでは一旦SPS研究が中断している。

・ 1992-1994年 NEDO 宇宙発電システムに関する調査研究 (日本)⁶⁾

1980年代に本研究所の研究グループを中心に日本で盛んに行われるようになったSSPS研究を受け、行われた日本版SSPSの調査研究プロジェクト。発電量は100万kWとやや小型で、日本がリードしている半導体技術を取り入れている点が特徴である。

1995-1997年 NASA SPS フレッシュ・ルック・プログラム (アメリカ)⁷⁾

1980-90年代の日本のSSPS研究活動を受け、リファレンスシステム以後停滞していたアメリカが再び再開したSSPS「見直し」プロジェクト。これまでに提案された数十にもわたる様々なSPSを再評価し、受電側の都市サイズや電力需要も考慮して経済的に成り立つ「サン・タワー」と呼ばれるユニット型SSPSを提案している。その後、議会在後押しする形でSSP Concept Definition Study (CDS)プログラム(1998年)、Space solar power Exploratory Research & Technology program(SERT)プログラム(1999-2000年)⁸⁾、SSP Concept and Technology Maturation (SCTM)プログラム(2001-2002年)⁹⁾と検討が進んでいる。

・ 1998-現在 JAXA SSPS 検討委員会 (日本)¹⁰⁾

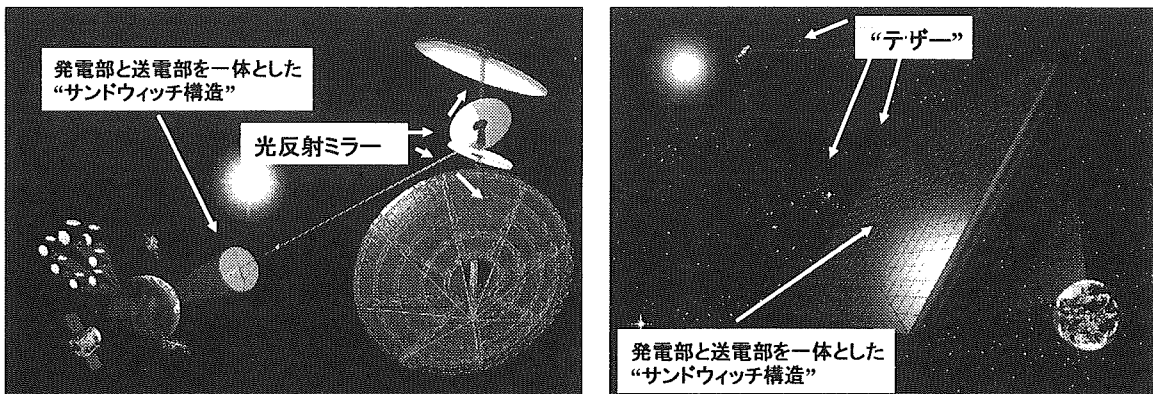
地球環境問題意識の高まり、宇宙産業の閉塞感、アメリカの動向等を受け、現在も行われているSSPS検討委員会。本研究所所長の松本紘教授が委員長となり、オール・ジャパンのメーカーを含む研究者で、発電—送電一体・ユニット型SSPS(図2(a))の設計と、SSPS実証試験衛星の概念設計を実施している。レーザーによる送電の検討も平行して行っている。2001年には発電—送電一体・ユニット型SSPSのマイクロ波送電基礎試作モデルSPRITZ(Space Power Radio Integrated Transmitter '00)を製作している¹¹⁾。

・ 2000-2002, 2004- 経済産業省 SSPS 検討委員会 (日本)¹²⁾

現在行われているもう一つのSSPS検討委員会。JAXAが宇宙システムとして主にSPSを捉えていることに対し、エネルギーシステムとしてSSPSを捉え、発電—送電一体・ユニット型SSPSの設計(図2(b))と、SSPS実証試験衛星の概念設計を実施している。ユニット型SSPSに必須のマイクロ波送電基礎技術に関する試作を行った。

・ 2003-現在 ESA(European Space Agency) Advanced Concepts Team (ACT) (ヨーロッパ)¹³⁾

3段階のSSPS検討プログラム。2003年度(第1段階)にはSSPSのデザインではなく、地上太陽光発電とSSPSの比較検討を行っている。ESAは2004年7月には国際シンポジウムSPS'04も主催している。



(a) SSPS JAXA2001 モデル

(b) SSPS METI/USEF2002 モデル

図2 最新の日本版SSPS(周波数:5.8GHz, 地上で1GWDC)

その他にも、日本の宇宙科学研究所で検討されている実験用中規模SSPS「SPS2000」¹⁴⁾等もあり、常に最新技術を取り入れながら様々なSSPSが検討され続けている。特に、SSPSの基盤技術であるマイクロ波送電は1960年代以降、様々な研究・実証実験が行われてきた¹⁵⁾。1960年代、70年代の研究の中心はアメリカのW. C. Brownであったが、1980年代以降は本研究所の研究グループが研究の中心

となり、世界初のマイクロ波送電ロケット実験 MINIX や無燃料飛行機へのマイクロ波送電実験 MILAX 等を実施してきた¹⁶⁾。本研究所では文部科学省の中核的研究機関（COE）プログラムの一環の支援を受け、SPS を目指した大型マイクロ波送受電実験装置 METLAB(Microwave Energy Transmission LABORatory)や SPSLAB(SPS LABORatory)を導入し、研究拠点として研究を推進している。近年は本研究所で開発した新方式のマイクロ波送電システムをベースとした SPORTS2.45, SPORTS5.8(Space Power Radio Transmission System)と呼ばれるマイクロ波送受電システムを導入し、マイクロ波送受電の基礎実験を進めている¹⁷⁾。本研究所の SSPS 研究グループは 2002 年度から文科省で導入された 21 世紀 COE プログラムにも選ばれ、SSPS の研究拠点化が進んでいる。

3. 研究所の研究 - マイクロ波送電を中心に -

電力輸送は有線に寄らずとも、無線でも行うことができる。基本的に光を含む電磁波は「エネルギー」であるため、無線でエネルギー伝送が行えることは、電磁波の発見とほぼ同時期から知られていた。無線によるエネルギー伝送の概念を始めて提唱し、実際に実験を行ったのは、20世紀初頭のニコラ・テスラである¹⁸⁾。Teslaは「電磁波のエネルギーは離れたところにある家の電球をともしることができる。」と述べ、実際に1899年に200フィートのマストの先に直径3フィートの球をつけた巨大なコイルを建造し、150kHz、300kWのエネルギー放射実験を行っている。しかし、電磁波は基本的に等方的に広がる性質を持っているため、Teslaの実験は不成功に終わり、その後の無線の歴史はエネルギーの輸送ではなく、「情報」の輸送となっていく。

無線によってエネルギーを伝送する為には、送電目標に電磁波エネルギーを集中させなければならない。集中させる為には電磁波の周波数を非常に高くする必要がある。第2次世界大戦以降、マイクロ波と呼ばれる1~10GHz程度の電磁波を発生させることができるようになって以降、無線電力伝送は再び注目され始め、研究が行われるようになった。SSPSの概念は1960年代のマイクロ波送電研究の進展によって初めて提唱されたものである。

マイクロ波送電技術のポイントは大きく3つに分類される。(1) マイクロ波発生技術、(2) 送電目標への電力集中のためのアンテナ技術、(3) マイクロ波から電力への変換技術である。ただ、異なっているのはマイクロ波送電では「効率」が重視される点である。マイクロ波送電における効率はこの(1)(2)(3)の効率の乗算で決定される。例えば(1)=80%、(2)=90%、(3)=80%とすれば $80\% \times 90\% \times 80\% = 57.6\%$ となり、マイクロ波送電における効率は通常50%程度である。普通の有線送電に比べると低い伝送効率であるが、マイクロ波送電は電気エネルギーの送電側と受電側が送電線でつながっていないという特徴があるため、

- (1) 送電側、受電側の移動の自由が飛躍的に大きくなる。送電点が1点とは限らない
- (2) 受電器を備えていればあらゆる送電器からの電気エネルギーを受けることができる

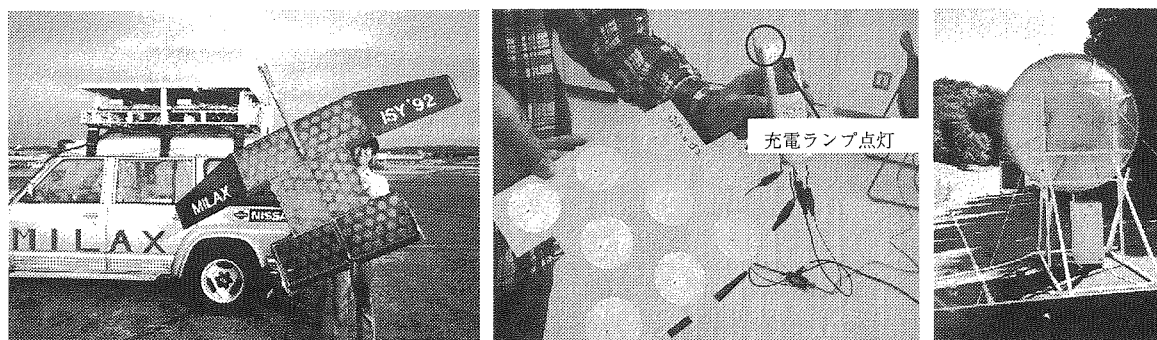


図 3 本研究所で実施されたマイクロ波応用技術 (a) 飛行体への送電 (1992) (b) 無線電力空間での携帯電話充電実験 (2004) (c) 地上 2 定点間送電実験 (1995-96)

- (3) 受電器は従来のバッテリーなどに比べて軽量にすることができる。また、基本的に電源は送電側の電源なので電気エネルギーの供給が途絶える可能性は少なく、バッテリー切れの心配が少ない
- (4) 空間をエネルギー伝送するため、有線送電のような負荷損による損失は小さく、マイクロ波を集中できれば数万kmでも高効率で送電可能である

といった多くの特徴を持ち、新しい電力輸送の形態として現在研究が行われている。

SSPS はマイクロ波送電の最大の応用例であるが、その他地上でもマイクロ波送電の応用は可能である。(1)や(3)の特徴を生かせば移動体、飛行機や電気自動車への送電が可能となる。燃料やバッテリーが不要となるこの技術は本研究所でも実証実験でその有用性を実証済(図 3(a))である。(2)の特徴を生かせば今話題のユビキタス(=いつでもどこでも)情報社会のための無線での電源として応用することもできる。本研究所ではこれを「無線電力空間」もしくは「ユビキタス電源」と呼び、現在研究を進めている(図 3(b))¹⁹⁾。(4)の特徴は SSPS で最大限に生かされるが、それ以外にも災害時や遠隔地、僻地へのマイクロ波送電にも応用可能である(図 3(c))²⁰⁾。地上での送電ではおそらく直感よりも大きな送電システムが必要となるデメリットがあるが、(2)(3)の特徴とあわせ、柔軟性と即応性の高い電源供給が可能となるメリットが生まれる。

4. おわりに

人間はすぐ目の前に締め切りが迫らないと実感が薄く何もしない生き物である。特に日本人は熱しやすく冷めやすい気質があるため、70年代のオイルショック、80年代の環境問題意識の高まりをもう忘れてしまったかのようである。しかし、地球の生存圏の危機は私達の子供の世代、孫の世代まで迫ってきており、その対応は私達の世代からはじめなければ到底間に合わない。幸い SSPS は既存技術を研磨することで実現可能な新しいクリーンな発電所であり、その核となるマイクロ波送電技術は本研究所を拠点として世界中で研究が行われている。マイクロ波送電の地上応用も今後の新しい産業を生む可能性もある。本研究所では生存圏の持続的発展のための一手法として SSPS 及びマイクロ波送電を選択し、今後も遠い目標へ向かって研究を行っていくが、大学だけでその目標を実現することは難しい。多くの市民の方との協力が必要であり、今後さらに有機的な産官学民の協力を目指したい。

参考文献

- 1) Glaser, P. E.; "Power from the Sun ; Its Future", Science, 162, pp.857 - 886, 1968
- 2) 吉岡完治、管幹雄、野村浩二、朝倉啓一郎 ; “宇宙太陽発電衛星の CO₂ 負荷”, 学振未来 WG2-1, 1998
- 3) Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III ; "The limits to growth - A report for THE CLUB OF ROME'S project on the predicament of mankind", Universe Books, New York, 1972
- 4) YAMAGIWA, Y. and M. Nagatomo, "An Evaluation Model of Solar Power Satellites Using World Dynamics Simulation", Space Power, vol.11, no.2, pp.121-131, 1992
- 5) DOE and NASA report ; "Satellite Power System ; Concept Development and Evaluation Program", Reference System Report, Oct. 1978) (Published Jan. 1979).
- 6) 宇宙発電システムに関する調査研究、三菱総合研究所(新エネルギー・産業技術総合開発機構)、1992.3、1993.3、1994.3
- 7) Mankins, J. C. ; "A fresh look at the concept of space solar power", proceeding of SPS'97, S7041, (in Montreal), 1997
- 8) <http://procurement.nasa.gov/cgi-bin/EPSS/sol.cgi?acqid=150#Amendment 01>, "SPACE SOLAR POWER (SSP) EXPLORATORY RESEARCH AND TECHNOLOGY (SERT) PROGRAM, SOL NRA8-23"
- 9) <http://space-power.grc.nasa.gov/ppp/sctm/>
- 10) 株式会社三菱総合研究所, “宇宙航空研究開発機構委託業務「宇宙エネルギー利用システム総合研究」”, 2004.2

- 11) Mori, M., H. Matsumoto, N. Shinohara, and K. Hashimoto, "Solar Power Radio Integrated Transmitter (SPRITZ) Unit for SPS", Proc. of URSI2002, p.1441 (H Special P.4), 2002
- 12) 小林徹, "USEF における宇宙太陽発電システム(SSPS)検討状況", 第 4 回 SPS シンポジウム講演集, pp.127-130, 2001
- 13) Summerer, L., and F. Orgaro, "Solar Power from Space – Validation of Options for Europe", Proc. of SPS'04, p.17-26, 2004.7
- 14) SPS2000 タスクチーム ; "SPS2000 概念計画書", 宇宙科学研究所, 1993
- 15) Brown, W.C.; "The history of power transmission by radio waves", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-32, No.9, pp.1230-1242, 1984
- 16) Matsumoto, H., "Research on Solar Power Station and Microwave Power Transmission in Japan : Review and Perspectives", IEEE Microwave Magazine, pp.36-45, December 2002
- 17) Shinohara, N., H. Matsumoto, and K. Hashimoto, "Phase-Controlled Magnetron Development for SPORTS : Space Power Radio Transmission System", The Radio Science Bulletin, No.310, pp.29-35, Sep. 2004
- 18) Tesla, N., "The transmission of electric energy without wires, The thirteenth Anniversary Number of the Electrical World and Engineer", March 5, 1904
- 19) 篠原真毅, 松本紘, 三谷友彦, 芝田裕紀, 安達龍彦, 岡田寛, 富田和宏, 篠田健司, "無線電力空間の基礎研究", 信学技報 SPS2003-18 (2004-03) pp.47-53, 2004
- 20) 下倉尚義, 賀谷信幸, 篠原真毅, 松本紘, "定点間マイクロ波送電実験", 電気学会部門誌(電力・エネルギーB 分冊), Vol.116-B, No.6, pp.648-653, 1996

MUレーダー共同利用

1. 概要

信楽 MU 観測所は、滋賀県甲賀市信楽町に位置し 1982 年に設置された。1984 年に完成した大気観測用大型レーダーである MU レーダーを中心として、全国共同利用を実施してきた。多様な観測設備が充実しており、地表面に近い下層大気から宇宙空間に接する超高層大気までを総合観測・研究拠点として、国内外に知られている。今後は国際共同利用化を予定しており、MU レーダーをはじめとする多くの設備を駆使した先端の大気観測と、新しい観測機器等の開発拠点としての発展を目指している。

1.1 共同利用に供する設備

MU レーダー ラジオゾンデ アイオノゾンデ UNIX ワークステーション 地上気象観測器(気温・湿度・風速・降雨) 2 周波レーダー 下部対流圏レーダー(*) レイリー・ラマンライダー(*) VHF 電離圏レーダー(*) ミリ波ドップラーレーダー(*)

(*: 利用に当たっては、担当者との事前協議が必要)

1.2 その他の観測装置

大気光イメージャ(名大 STE 研) ナトリウムライダー(信州大) 磁力計(京大理)他
(以上の機器の利用に当たっては、それぞれの研究者への問い合わせが必要)

1.3 実施中の共同利用

- MU レーダー観測全国共同利用(年 2 回公募、締切は 2 月、8 月上旬)：
MU レーダー観測研究課題を公募し、採択された課題に観測時間を割り当てて実施している。観測課題には、大きなグループを形成して行うキャンペーン課題を設けている。また標準観測を下層・中層大気については毎月、電離圏については年 9 回実施している。観測データの公開は、標準観測については即時、その他のものは 1 年後である。
- MU レーダー観測データベース全国共同利用(年 1 回公募、但し随時受付)：
MU レーダー観測で得られたデータの公開のための共同利用であり、随時受付している。観測パラメータの一部はオンライン化されているが、オリジナルの観測データは膨大なため、ネットワーク配信されていない。

2. 本年度の実績

共同利用課題数と延べ利用者数を表 1 に示す。

表 1 : 共同利用課題数と延べ利用者数

期間	MU レーダー観測共同利用	MU レーダー観測 データベース共同利用(通年)
前期(4-9 月)	22 件、104 名	
後期(10-3 月)	23 件、99 名	4 件、16 名

3. 特記事項

- 国際共同利用化に関する取組み
来年度後期からの国際共同利用開始を目指して、作業を進めている。生存圏研究所の全国共同利用化に呼応して、MU レーダー観測共同利用専門委員会に海外委員 2 名を選任した。また関連分野の国外の著名学者に依頼してアドバイザーグループを構成し、国際共同利用の申請者は基本的に同グループからの推薦を受けた上で応募するものとした。
- MU レーダーの整備
昨年度末までに「MU レーダー観測強化システム」が導入されており、今年度はこれの利用に向けた

システム調整、ソフトウェアの整備等を進めてきた。既に研究所内からは観測利用が進められており、大気乱流の3次元分布の解明を目指すイメージング観測などが試みられている。

4. 研究成果紹介・共同利用についての紹介

4.1 「レーダー・光学観測を中心とする電離圏E領域・F領域間相互作用観測計画」代表：山本衛（所内）

研究代表者等はこれまで MU レーダーを中心とする数多くの観測によって、中緯度域の電離圏イレギュラリティ(Field-Aligned Irregularity; FAI)に特徴的なダイナミックな空間構造が生じること、FAI 生成には分極電界の働きが重要であること等を明らかにしてきた。電離圏内では、分極電界は地球磁力線に沿って数百 km 以上にわたってほとんど減衰なしに伝搬しうするため、当然 E 領域 FAI と F 領域 FAI の間には相互の関係が予想される。しかしながら 1 点からのレーダー観測のみで同一磁力線上の E・F 領域 FAI の振舞いを明らかにすることは本質的に不可能である。本研究はキャンペーン観測として実施されたもので、具体的には、同一磁力線上における E・F 領域 FAI の振舞いを調べ、電界を通じた E・F 領域の相互作用を明らかにするため、以下の観測を実施した(左図参照)。

(1) MU レーダーからの F 領域 FAI 観測(緑色矢印方向の観測)、(2) 可搬型のレーダーによる山形県酒田市からの E 領域 FAI 観測(赤色矢印方向の観測)、(3) 通信総合研究所が東北地方に FM-CW レーダー3 機を展開して行う多点観測、(4) 信楽 MU 観測所からの大気光イメージャ観測、(5) 国土地理院の GPS 受信機ネットワークによる GPS-TEC (全電子数)観測。

観測の結果について、MU レーダーの F 領域 FAI (以下、F-FAI) に対して、同一磁力線上に位置する E 領域 FAI (以下、E-FAI) の空間構造を解析した。F-FAI を磁力線に沿って E 領域高度である 100km に投影し、E-FAI との対応関係を比較したところ、カップリングしていると思われる例が 10 夜あった。F-FAI が存在しないときの E-FAI は地図上にマッピングすると酒田における 110km の磁力線直交線上に最大で東西約 200km にわたって安定に位置するが、対応する F 領域に於ける F-FAI の発生にともなって E-FAI は形状を変化させ、F-FAI と同じ位相速度でともに西へ移動することが確認された。

4.2 MU レーダーによる流星観測課題について

関連課題「しし座流星群の観測」「ジャコピニ流星群の観測」代表：渡部潤一（国立天文台）

「昼間流星群「おひつじ座流星群」の軌道観測」代表：阿部新助（学振・特別研究員）

「中間圏ナトリウムライダーと MU レーダーとの同時観測による

中間圏大気波動活動の解明」代表：野村彰夫（信州大）

「超高層大気 of MU レーダーとナトリウムライダーによる

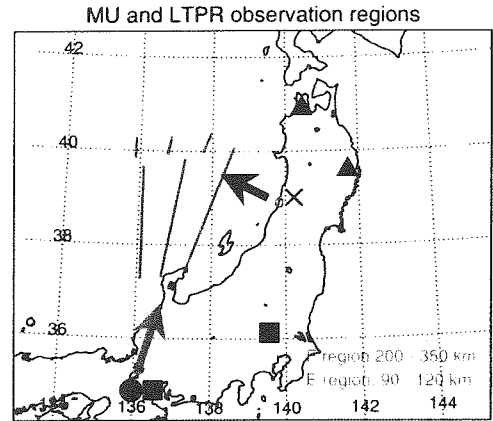
同時観測」代表：長澤親生（都立大）

「バイスタティック流星レーダーによる大気観測の基礎研究」代表：阿保真（都立大）

「MU レーダーによる改良型流星観測の開発」代表：堤雅基（極地研）

「高感度狭帯域流星レーダー開発のための基礎実験」代表：中村卓司（所内）

流星は宇宙空間から地球に降り注ぐ微小な流星塵が大気によって加熱・発光する現象であり、光学観測だけではなくレーダー観測も可能である。MU レーダーは流星飛跡からのエコーを観測する流星レーダーとして世界屈指の感度を備えているため、表記のように多くの流星群の観測課題が多く提案・実施されている。これらは流星群の起源となる天文分野の彗星の研究に繋がっている。また流星観測から高度 80~100km の大気風速が観測されるため、同高度域を観測するナトリウムライダーとの協同観測や、流星レーダーそのものの改良を目的とする開発研究が多く実施されている。



- MU レーダー、 × LTPR (酒田)
- ▲ FM-CW レーダー(酒田、弘前、宮古)
- 既存アイオノゾンデ (信楽、国分寺)

赤道大気レーダー共同利用

1. 概要

赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; 以下では EAR と表記)は平成 12 年度末に完成した大型大気観測用レーダーであり、インドネシア共和国西スマトラ州の赤道直下に位置している。同種の MU レーダーと比べても最大送信出力が 1/10 である以外はほぼ同等の性能を持っている。運営は、インドネシア航空宇宙庁(LAPAN)との協力関係のもとに進められている。平成 13 年度からは、赤道大気 of 地表面から宇宙空間に接する領域までの解明を目指した科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合」の中核設備として長期間連続観測を続けている。来年度から全国・国際共同利用に供するべく準備を進めている。

1.1 共同利用に供する設備

赤道大気レーダー 地上気象観測器(気圧・気温・湿度・風速・降雨) シーロメータ
衛星通信回線(注) 流星レーダー(*) 境界層レーダー(*)
(*: 利用に当たっては、担当者との事前協議が必要)

1.2 その他の観測装置

大気光イメージャ(名大 STE 研) VHF 電離圏レーダー(名大 STE 研、設置予定)
多機能ライダー(都立大) X バンド気象レーダー(島根大) 磁力計(名大 STE 研)
アイオノゾンデ(情報通信研究機構) GPS シンチレーション受信機(名大 STE 研)
降雨粒径分布計(島根大) 水蒸気ラジオメーター(島根大)
(以上の機器の利用に当たっては、担当研究者の事前の了解が必要)

1.3 共同利用の形態

- EAR の共同利用は、施設が外国に位置することから、必然的に「全国」「国際」型が重なった形態をとる。
- 「国際」対応について、当初 2 年間(平成 18 年度まで)は、利用者を原則として日本及びインドネシアからに限定する。その間に受入体制を整え、平成 19 年度から本格的な全国・国際共同利用施設として運営する。

1.4 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。応募書類は英語の使用を義務付ける。申請受付のため web ページを開設するか、あるいは電子メールベースで申請を受け付ける。
- 応募締切りの後、専門委員によって審査を行い、結果を事務局で取りまとめる。その後、専門委員会を開催して 1 年間の EAR 運営状況について議論を行い、観測時間の割当て等を行う。
- 国際的な共同研究プログラムからの観測依頼など、緊急を要する場合は専門委員長が採否を決定する。必要に応じて電子メールベースで委員に回議する。

2. 本年度の実績

来年度から全国・国際共同利用に供するべく準備を進めている。

3. 特記事項

- 赤道大気レーダーのホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/>
- 特定領域研究「赤道大気上下結合」のホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/cpea/>

4. 研究成果紹介・共同利用についての紹介

全国・国際共同利用は来年度から開始される。ここでは EAR の運用状況について紹介する。

4.1 EAR 長期連続観測と観測キャンペーン

EAR の観測状況を図 1 に示す。基本の観測モードは高度 20 km 程度までの対流圏・下部成層圏の 5 ビーム観測であり、2001 年 6 月から現在まで連続的に実施中である。また、矢印で示す期間には(独)海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター等が実施するラジオゾンデ観測との協同観測、黒く示された観測期間中には電離圏イレギュラリティ (FAI) 観測を実施するなど、長期連続観測を順調に実施してきた。EAR 観測データについては、一次解析で得られる風速、スペクトル幅、エコー強度等の 10 分値を、ホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/data/> において公開している。また現在、電離圏イレギュラリティ観測データについても公開に向けて作業を進めている。

現在、EAR を中心として科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合 (Coupling Processes in the Equatorial

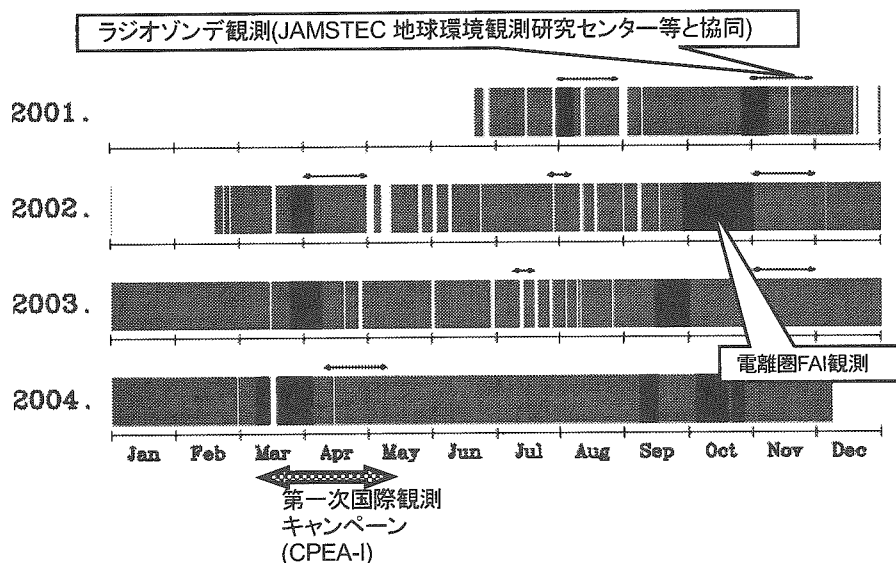


図 1 赤道大気レーダー (EAR) 観測期間 (観測開始以降の全期間)

Atmosphere (CPEA)) (領域長：深尾昌一郎)が行われている。本報告にある EAR サイトの諸観測装置の多くは、CPEA によってこれまで整備されてきたものである。CPEA では、これらによる総合観測として 2005 年 3 月～5 月の期間中に第一次国際協同観測キャンペーン (以下、CPEA-I) を実施した。CPEA-I 期間中の EAR 観測モードについて表 1 にまとめる。3 月 8 日から 4 月 4 日までは日中 (8

～18LT)には通常の対流圏・成層圏標準の 5 ビーム観測 (以下、標準観測) を継続し、毎日の日没から翌朝の時間帯 (18～8LT)には標準観測に加えて、電離圏 F 領域と E 領域の電離圏イレギュラリティ観測を実施した。また 4 月 10 日から 5 月 4 日までの期間中は、標準観測と RASS 温度観測を切替実施した。5 月 5 日から 9 日の期間は、標準観測と鉛直流の強化観測モードを組み合わせて実施している。なお 4 月 10 日以降にはインドネシア・マレーシア・シンガポール 3ヶ国にまたがる計 7ヶ所からの大規模なラジオゾンデ同時打ち上げが実施されている。EAR 観測は、CPEA-I に限らず必要に応じて諸観測装置との協同観測を実施している。それらは、マルチスタティック・レーダー観測による対流圏の 3 次元風速観測、ナトリウムライダー観測やミ-散乱ライダー観測と EAR との協同観測などである。低緯度電離圏の研究に関して、(独)情報通信研究機構が EAR サイトを含む同一子午線上に展開中の FM-CW アイオゾンデ観測網 (Southeast Asia Equatorial Ionospheric Network: SEALION) との協同も継続中である。

表 1 CPEA-I 期間中の EAR 観測モード

期間	3 月 8 日～4 月 4 日		4 月 10 日～5 月 4 日	5 月 5 日～10 日
	8 時～18 時	18 時～8 時	終日	終日
観測モード	対流圏・成層圏標準 5 ビーム			
		E・F 領域 FAI	RASS 温度観測 5 ビーム	鉛直流 1 ビーム
時間分解能	90 秒	259 秒	140 秒	166 秒

METLAB 共同利用

1. 概要

マイクロ波エネルギー伝送実験装置(METLAB)は、マイクロ波エネルギー伝送実験を効率的に行うための電波暗室及び実験装置であり、京都大学宇治キャンパスに平成8年に設置された。平成16年度よりマイクロ波エネルギー伝送、宇宙太陽発電所 SPS 及び電波科学一般に関する実験のための共同利用に供されている。同年度当初には6課題が採択され、実験が行われている。今後は生存圏科学に関するものに門戸を広げ、全国・国際共同利用化を予定している。

1.1 共同利用に供する設備

マイクロ波エネルギー伝送実験装置(METLAB) 電波暗室(1W/cm²以上の高耐電力電波吸収体が設置され大電力マイクロ波エネルギー送電実験を行うことが可能) 種々のオシロスコープ、ネットワークアナライザ、スペクトラムアナライザ、電力計、アンプ、電源など。

URL は <http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/plasma-group/metlab.html>。

1.2 実施中の共同利用

● METLAB 全国共同利用

- 年1回公募、今年度の締切は1月末、緊急を要するものは随時受け付ける。
- METLAB 研究課題を公募し、採択された課題に日時を割り当てて実施している。それらの研究成果または経過については、所定の利用報告書の提出の他、本研究所主催の研究会(METLAB 研究会)等での報告を依頼している。
- URL は <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/metlab>。

2. 本年度の実績

期間	応募	随時	承認	利用	延べ日数
平成16年度	6件	2件	8件	7件	72日

平成16年度 METLAB 共同利用課題一覧

	研究代表者	所属	教授	研究題目	分類
1	川崎 繁男	東海大学電子情報学部	教授	導波管スロット給電型アクティブ集積アンテナの研究	A. マイクロ波送電
2	笈田 昭	京都大学大学院農学研究科	教授	マイクロ波送電技術を用いた農業機械の電動化	A. マイクロ波送電
3	川崎 春夫	独立行政法人宇宙航空研究開発機構		真空中における伝送器の熱特性および冷却機構に関する研究	A. マイクロ波送電
4	野木 茂次	岡山大学大学院自然科学研究科	教授	小電力受電用レクテナの効率向上に関する基礎検討	A. マイクロ波送電
5	三谷 友彦	京都大学生存圏研究所	助手	電子レンジ用マグネトロン ^① の低雑音化に関する開発研究	C. 電波科学一般
6	竹野 裕正	神戸大学工学部	助教授	マイクロ波照射による複合材料の欠陥検出	C. 電波科学一般
7	佐藤 亨	京都大学大学院情報学研究科	教授	UWBパルスレーダを用いた目標形状の高速推定法	C. 電波科学一般
8	小林 裕太郎	財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構	調査研究部長	複数の電源・アンテナ一体型パネルの総合動作試験	A. マイクロ波送電 B. 宇宙太陽発電

3. 特記事項

- 平成15年3月から毎年、「宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会(METLAB 研究会)」を電子情

報通信学会宇宙太陽発電時限研究専門委員会の協賛で開催しており、本年度は2月22～23日に開催した。同時に報告書をホームページに掲載している。URLは<http://www.ieice.org/cs/sps>。

- 国際共同利用化に関する取組み：生存圏研究所の全国共同利用化に呼応して、METLAB共同利用専門委員会に国際委員1名を選任した。運営委員会での議論をふまえ専門委員会で検討した。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

共同利用開始以前から共同研究としても行われてきた本学農学研究科笈田教授らのグループによる、平成16年および17年のMETLAB研究会で発表された研究成果を紹介する[1, 2]。農業機械において排出ガスの削減や化石燃料依存からの脱却を行うためには、農用車両の電動化が大きな課題となっている。しかし車両にバッテリーを搭載した場合、機体の質量の増大や作業時間が短いという問題がある。そこで、マイクロ波送電技術を農用車両に応用し、圃場で作業しながら移動する農業機械に無線送電を行うことで上記の問題を解決することを目標とした研究である。

農用車両をマイクロ波送電で駆動する際に問題となる安定した送電を確保するには、送電アンテナの方向が移動する車両に向くように制御する必要がある。そこで、走行する模型車両の方向を画像処理を用いて検出し、送電アンテナが搭載されたターンテーブルを回転制御するシステムを構築した。

車両にはTAMIYA製模型車両「マンモスダンプ」を使用し、走行に関係しない部分を取り外して供試した。受電用レクテナはパッチアンテナ16枚が同一平面上同方向に配置されたもの、および6枚のパッチアンテナを同一平面上に配列したものを4面用意し4つの面で四角柱を構成する形に配置したものを用意した。4面レクテナと呼ぶ前者のレクテナが搭載された状態を図1に示す。マイクロ波送電のためには、位相制御マグネトロン装置を使用した。周波数は2.45GHz、最大出力は800Wで、送電出力は位相制御マグネトロン装置にコントロール用の直流電圧を与えることで変化させることができる。今回の実験では、送電アンテナの回転制御に使用している2台のカメラの回転角から車両の位置を利用している。この位置情報と走行パターンと車両位置を比較することにより、操舵の指令を有線によりPCから車両に送信した。この車両制御の有効性について検証し、制御命令の送信の無線化へのステップとすることを目的とした。METLAB電波暗室にて行なわれた。

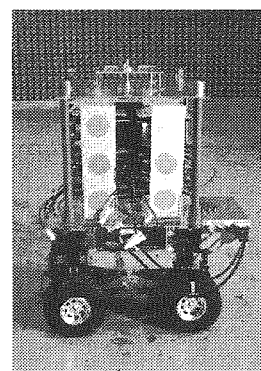


図1 4面レクテナ搭載車

同時に、マイクロ波の植物体への影響を検証するために、マイクロ波暴露下における種子の発芽実験も行なわれてきた。これまでの実験では、種子を置床したシャーレ内の水温がマイクロ波の影響で上昇したため、種子発芽の統計的差異がマイクロ波そのものに起因するものかあるいは水温上昇の影響によるものか判別することができなかった。そこで水温上昇を防ぎ水温を安定させる装置をあらたに製作し、ダイコン種子の発芽実験を行なった。水温条件を一定にすることで、マイクロ波の発芽に対する影響の有無を検証することを目的とした。発振回路から出力されたマイクロ波を1Wアンプ、可変抵抗器、20Wアンプを通し、チャンバ内天井に設置されたパッチアンテナから下方に照射する。チャンバ内の床に受電アンテナ設置しマイクロ波をモニタする。ダイコン種子発芽に対するマイクロ波の影響の検証実験では、実験回数が不足していることから結論の断定には至らなかったが、顕著な影響が現れているとする結果にはならなかった。

参考文献

- [1] 宮坂寿郎他、マイクロ波駆動農用車両の走行に関する基礎的研究—画像処理による送電アンテナの車両追尾—、電子情報通信学会技術報告SPS2003-14、2004年03月
- [2] 宮坂寿郎他、マイクロ波駆動農用車両の走行制御およびマイクロ波のダイコン種子発芽に対する影響に関する基礎的研究、電子情報通信学会技術報告SPS2004-19、2005年02月

居住圏劣化生物飼育棟共同利用

1. 概要

京大大学生存圏研究所居住圏劣化生物飼育棟（以下 DOL と略記）は、木材及びそれに類する材料を加害する生物を飼育し、材料の生物劣化試験、生物劣化機構、地球生態系・環境への影響（例えば、シロアリによるメタン生成など）などを研究する生物を供給できる設備を備えた建屋である。飼育生物としては、木材腐朽菌、変色菌、表面汚染菌（かび）などの微生物とシロアリやヒラタキクイムシなどの食材性昆虫が含まれる。従前より、木材や新規木質系材料の生物劣化抵抗性評価や防腐・防蟻法の開発・研究に関して、大学だけでなく、公的研究機関、民間企業との共同研究を積極的に遂行してきた。平成 17 年度からの全国・国際共同利用に供するために設備の整備を進めている。

1.1 共同利用に供する設備

京大大学生存圏研究所居住圏劣化生物飼育棟

1.2 その他の設備

研究の進展に応じて、京大大学生存圏研究所生活・森林圏シミュレーションフィールドを利用する野外試験の実施が可能。

1.3 共同利用の形態

- 平成 17 年度の共同利用については、予算が決定次第募集を開始する。
- 「国際」対応および今後のありかたに関しては、17 年度に専門委員会で議論し、可能であれば 18 年度から国際共同研究の募集を開始する。また、海外の研究機関と相互利用に関する協定等を結ぶことによつて、国際共同利用施設として活用する。
- DOL を利用する研究が生存圏科学の発展に大いに貢献し、共同利用性の高い施設へと発展させるために、下記研究内容の共同利用を重点的に募集する。
 - ミッション① 環境計測・地球再生：シロアリが放出する気体の種類および放出量の決定による地球環境・生態系への影響予測
 - ミッション② 太陽エネルギー変換・利用：劣化生物によるバイオマスの有効利用
 - ミッション③ 宇宙環境・利用：特記すべき事項なし
 - ミッション④：循環型資源・材料開発：開発された諸材料の生物劣化抵抗性；低環境負荷型防腐・防蟻法の開発

1.4 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。応募書類は英語の併用を義務付ける。申請受付のため web ページを開設するか、あるいは電子メールベースで申請を受け付ける。
- 申請締め切り後、専門委員会を開催し採択課題の決定を行う。現在のところ、15～20 課題、共同研究者として 50 名程度の採択を予定しており、旅費・滞在費（場合によっては消耗品費）を支給する。
- 緊急を要する場合は専門委員長が採否を決定する。必要に応じて電子メールベースで委員に回議する。

2. 本年度の実績

来年度から全国・国際共同利用に供するべく準備を進めている。

3. 特記事項

- 全国・国際共同利用化への準備状況
これまでの共同利用実績を踏まえ、設備の整備に着手している。
平成 16 年度の利用実績（民間企業を含む）：国内外 45 件、約 80 人が参加。

主な研究テーマ： 新規木材用防腐剤の性能評価 新規木材用防かび材の性能評価 新規木材用防虫剤および防虫処理法の性能評価 新規防蟻剤の性能評価および施用方法に関する研究 日本産地下シロアリの採餌行動に関する研究 非木質系材料の耐蟻性評価

- 研究成果報告会： DOL で行われた研究成果を広く社会に公開するために、研究成果報告会を平成 17 年度以降年 1 回の割りで開催、あわせて成果報告集を出版する。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

木材を含む木質系諸材料の生物劣化因子である木材腐朽担子菌類、表面汚染菌(かび)、辺材変色菌など、微生物の累代培養して保管している。また、木造家屋の大敵である地下シロアリの 1 種であるイエシロアリとラワン材などの広葉樹を加害するヒラタキクイムシを常時、培養している。これらの劣化生物を利用して、諸材料の生物劣化抵抗性の比較試験と高耐久化処理効果の評価が可能である数少ない研究棟である。

生活・森林圏シミュレーションフィールド共同利用

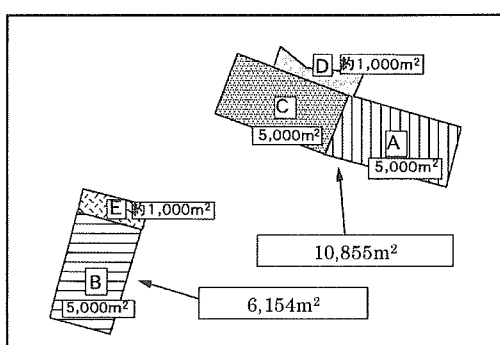
1. 概要

京都大学生存圏研究所生活・森林圏シミュレーションフィールド（以下 LSF と略）は、鹿児島県日置市吹上町吹上浜国有林内に設置されたクロマツとニセアカシア、ヤマモモなどの混生林からなる約 17,000 平方メートルの野外試験地である。これまでに既に 30 年以上近くわたって木材・木質材料の耐久性に関わる性能評価試験やシロアリの生態調査に関して、国内外の大学、公的研究機関及び民間企業との共同研究が活発に実施されてきている。平成 17 年度より、全国・国際共同利用が開始される。

1.1 共同利用に供する設備

鹿児島県日置市吹上町吹上浜国有林内野外試験地（生活・森林圏シミュレーションフィールド）

2 試験区、合計約 17,000 平方メートル



2 試験区の配置（左）とその様子（上）

1.2 共同利用の形態

- 平成 17 年度の共同利用については、予算が決定しだい公募を開始する。
- 「国際共同利用」について、LSF においては既に多くの国際共同研究が実施中であるが、今後のありかたについて平成 17 年度に専門委員会で議論し、可能であれば 18 年度から国際共同研究の募集を開始する。また、海外の研究機関（オーストラリア CSIRO 昆虫学部門、ハワイ大学、マレーシア理科大学、インドネシア生物材料研究・開発ユニットなど）と相互利用に関する協定等を結ぶことによって、国際共同利用施設として活用することを目指している。
- LSF を生存圏科学に関する総合的な野外実験施設へと発展させるために、以下の例の様な研究分野における共同利用を新たに募集する。

ミッション①：環境計測・地球再生：

生活・森林圏における物質循環

地球大気情報、特に東シナ海沿岸域における大気情報の精測

ミッション②：太陽エネルギー変換・利用：

マイクロ波送電における野外シミュレーション

木質バイオマスの循環に関するシミュレーション

ミッション③：宇宙環境・利用：宇宙環境において製造された木質系材料の性能評価

ミッション④：循環型資源・材料開発：

分子育種による高炭素固定樹木の性能評価

新規機能性木質材料の環境内挙動

1.3 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。応募書類は英語の併用を義務付ける。申請受付のため web ページを

- 開設するか、あるいは電子メールベースで申請を受け付ける。
- 申請締め切り後、専門委員会を開催し採択課題の決定を行う。現在のところ、20～30 課題、共同研究者として 60 名程度の採択を予定しており、旅費・滞在費を支給する。
 - 緊急を要する場合は専門委員長が採否を決定する。必要に応じて電子メールベースで委員に回議する。

2. 本年度の実績

平成 17 年度から全国・国際共同利用に供するべく準備を進めている。

3. 特記事項

● これまでの利用実績

平成 16 年度の利用実績（民間企業を含む）：国内外 40 件、65 人

● 研究成果報告会

LSF で行われた研究成果を広く社会に公開するために、研究成果報告会を平成 17 年度以降年 1 回開催し、あわせて成果報告集を出版する。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

LSF は、平成 17 年度より全国共同利用に供される予定である。以下、現在実施されている共同研究の中で代表的なテーマについて紹介する。

4.1 「新規無薬剤防蟻技術に関する比較研究」

共同研究機関：秋田県立大学附属木材高度加工研究所、宮崎県木材利用技術センター、民間企業

4.2 「日本産及び外国産樹木の生物劣化抵抗性に関する比較研究」

共同研究機関：森林総合研究所、マレーシア理科大学、インドネシア生物材料研究ユニット、オレゴン州立大学、秋田県立大学附属木材高度加工研究所、三重大学生物資源学部、鳥取大学農学部、琉球大学農学部、岡山県木材加工技術センター、徳島県立農林水産総合技術センター・森林林業研究所、高知県立森林技術センター、民間企業

4.3 「木材保存薬剤及び処理木材の効力評価および環境内挙動」

共同研究機関：Forintek Canada Corp.、ハワイ大学、民間企業

4.4 「非木質系材料の耐朽・耐シロアリ性」

共同研究機関：マレーシア理科大学、オーストラリア CSIRO 昆虫学部門、民間企業

4.5 「シロアリの食害生態に関する基礎的研究」

共同研究機関：森林総合研究所、民間企業

4.6 「シロアリの群集生態学に関する基礎的研究」

共同研究機関：山口大学農学部、東京大学大学院総合人間文化研究科、オーストラリア CSIRO 昆虫学部門、民間企業

木質材料実験棟共同利用

1. 概要

木質材料実験棟 (Wood Composite Hall) は、1994 年 2 月に完成した大断面集成材を構造材とする三階建ての木造建築物である。1 階には、様々な木質材料で構成される木質構造物の接合部・架構の強度性能評価のための実大実験装置に加えて、木質由来の新素材開発の研究を行うための加工、処理、分析・解析装置等を備えている。2 階は、スタッフの居室、応接室、ミーティングスペース、そして大学院生の居室となっている。3 階には、国内は勿論、国際的なシンポジウムにも広く活用されている 140 名程度収容可能な講演会場の他、30 名程度が利用できる会議室がある。またユニークな空間として、2 階の階段踊り場からは、NZ から寄贈されたスパン 10m の木橋が外部空間に展開し、木質構築物の屋外暴露実験試験体として、本実験棟の特徴的な概観を形作っている。平成 17 年 4 月 1 日より、この木質材料実験棟は、全国共同利用施設として運用されることになり、現在その方向に向けた様々の取り組みを行っている。

1.1 共同利用に供する設備

- 1) 鋼製反力フレーム 500kN 水平加力実験装置 (試験体の最大寸法は、高さ 2.8m、長さ 4.5m、奥行き 1m。全自動加力制御装置と最大ストローク 500mm の静的正負加力用オイルジャッキ)。
- 2) 1000kN 堅型サーボアクチュエーター試験機 (試験体の最大寸法は、高さ 2.5m、幅 0.8m、奥行き 0.8m 程度。動的、静的な各種プログラム加力が可能。アクチュエーターの最大ストロークは 250mm)
- 3) X 線光電子分析装置 (ESCA) (試料の最表面 (5nm) を分析可能。イオンエッチングを行うことで 深さ方向の分析も可能)

1.2 その他の装置

小型万能材料強度試験装置 (容量 100kN、スパン 3.6m、材せい 0.12m) 小型鋼製反力フレーム (高さ 2.5m、長さ 3m、奥行き 1.5m、オイルジャッキ 100kN) 走査型電子顕微鏡 小型木炭焼成装置 他

1.3 共同利用の形態

- 全ての施設が宇治にあるので、必然的に「全国共同利用」が中心となるが、拠点校プログラムが新たに決定されれば、「国際共同利用」も全国共同利用同様に活発となることが予想される。

1.4 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。応募書類は原則日本語とする。共同研究の窓口となる web ページを開設する。受付は電子メールベースとする。
- 応募締切りの後、専門委員によって審査を行い、結果を事務局で取りまとめる。その後、専門委員会を開催して 1 年間の木質材料実験棟の運営状況について議論を行い、利用時間の割当て等を行う。なお、必要に応じて、専門委員会は電子メールベースの回議とする。

2. 本年度の実績

来年度から全国・国際共同利用に供するべく準備を進めている。

3. 特記事項

- 全国・国際共同利用可への準備状況
施設の説明や利用価値を示すために、以下のホームページの開設を行った。
木質材料実験棟のホームページ
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/hall/index.html>
自然素材活用型木造軸組構法住宅の開発「エコ住 21」のホームページ
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/project/EcoJu.html>

利用予想者数の調査、他機関への施設や設備の周知を行い、円滑に公募が行えるように考えている。平成16年度の利用実績として、国内外で、10件、約25人であった。

● 研究成果報告会

木質材料実験棟で行われた研究成果を広く社会に公開するために、研究成果報告会を平成17年度以降年1回の割合で開催し、成果報告集を製作する。加えて、専門委員会を開催し、改善等必要な部分について議論・検討をおこなっていく。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

現在までの実績を踏まえて、主な利用形態を紹介する。

企業、都道府県の公設機関、またはそれらと個々の研究分野との共同研究による新規材料開発および用途開発を行っている。特に、材料開発には、プレス機や小型木炭焼成装置等が挙げられる。また、その構造評価には、走査型電子顕微鏡、X線光電子分析装置等を用いている。加えて、様々な機関によって新規開発された木質材料、または接合部、壁など構造躯体の評価も行っており、この評価には大型小型の両材料試験機が活躍している。また、鋼製反力フレーム 500kN 水平加力実験装置を用いて大型接合部や構造躯体の性能評価も行っている。このことより、本実験棟は、新規材料開発から、小さい部材レベル、構造躯体までの総合評価を一括で行える総合的評価を目的とした実験施設である。

実際には、ラグスクリューボルトを用いたラーメン構造の開発（企業との共同研究）、コナラとカラマツの単板を用いたLVLの開発（公設機関との共同研究）、接合強度の評価（企業からの依頼）など、様々な実験および開発を行っている。

生存圏データベース共同利用

1. 概要

長期にわたる大量の観測データをオンラインでアクセスできるようにすることは、長期的な統計解析を可能にするばかりでなく、国内外の研究者と共同研究を展開する上で、必要なデータに人手を介さずアクセスできるので非常に重要である。当研究所では、MUレーダーおよび科学衛星観測データのデータベースに加え、材鑑に関するデータ等についてもオンライン化を進め全国の共同研究者への利用を推進していく。

1.1 共同利用に供するデータ

- (1) レーダー大気観測データ
- (2) 宇宙圏電磁環境データ
- (3) 材鑑データ
- (4) グローバル大気観測データ
- (5) 赤道大気観測データ
- (6) 植物遺伝子資源データ
- (7) 木構造データ

1.2 共同利用の形態

- 既往のデータベースに関してはゆるやかな共同利用形態とする。
- 新規の材鑑室に関しては共同研究のほかに講習会開催による共同利用をも含むものとする。

1.2 共同利用の公募

- 既往のデータベースに関しては随時共同利用をおこなう。
- 公募にあたっては、共同利用研究公募要領によりおこなう。
- 材鑑室に関しては共同研究のほかに講習会開催による共同利用の公募もおこなう。

2. 本年度の実績

来年度から全国・国際共同利用に供するべく準備を進めている。

3. 特記事項

- 全国・国際共同利用化への準備状況
 - 第1回専門委員会を開催し、全国共同利用研究に関する公募要領、利用内規、利用手続きなどについて討議をおこない、原案を作成した。近々に公募のアナウンスをする予定である。
 - 国際共同利用については、関係研究機関または研究者との間の事前打ち合わせにより、煮詰まった段階で考える。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

ア. グローバル大気観測データ

本データベースでは、欧州、米国、日本などの気象機関が提供する全球気象データおよび各種グローバル衛星観測データなどに対して、自己記述的なデータ情報を適切に付加し、アプリケーションプログラムからのアクセスが容易な形にしたものを作成し公開することを目標としている。主として利用するインターフェイスは、米国の Unidata を中心に策定された NetCDF(Network Common Data Form)と呼ばれるもので、多次元データを自己記述的でポータビリティの高いフォーマットとして作成・アクセス・共有することを目的としている。今年度は、まずアーカイブすべきデータについて検討し、欧州の気象センターが提

供する再解析データおよび日本の気象業務支援センターが提供する気象庁作成の格子点データについて、データの整理をおこない必要なデータフォーマットの変換をおこなった。今後は、対象とするデータを参照データとして利用頻度の高いグローバル衛星観測データなどにも広げ、時間・空間のさまざまな次元における多様なデータの切り出しを可能にしていくとともに、データの検索や表示を自在におこなうための仕組みを取り入れ、データの解析・可視化が容易になるようなシステムを構築することを目指す。

イ. 植物遺伝子資源データ

植物遺伝子資源データベースにおいては、植物の二次代謝とその産物の転流・蓄積に関与すると考えられる膜輸送遺伝子に焦点を絞り、二次代謝に特化した植物の培養細胞を遺伝子資源としてその EST 解析を行い、遺伝子情報を想定される機能と共に公開する。2005 年度は、人類の食糧確保と有用天然物の多様性の観点からマメ科植物を選定し、形態形成や一次代謝系遺伝子の混入を少なくするため、培養系の確立されたクララ (*Sophora flavescens*) 細胞をモデルとしてその cDNA ライブラリーを構築し、11,874 個の EST 解析 (配列サイズ: 124-2339 bp) を行った。また、得られた配列情報を外部利用者に提供するため、ウェブ用のインターフェイスを構築した。本システムでは、キーワード検索のほかに、利用者の持つ遺伝子配列を用いた BLAST 検索も行える。いずれの方法での検索結果も、相同性の高い順にクローン番号とキーワードがリストとして表示される。そのリストに示されるクローン番号をクリックすることにより、具体的な塩基配列や予想輸送基質などさらに詳細な情報を得ることを可能にした。

本データベースを用いることで、様々な生物種からの目的遺伝子の homology-based cloning に資するとともに、高保存性アミノ酸やモチーフの同定、分子進化的解析に必要な情報を提供できる。さらに、プローブとして当研究所の持つ EST クローンそのものの提供を希望する利用者には、フリーズストックの配布を行う。なお、Non-redundant のデータは 10,954 個で、現在のデータサイズ: 27.2 MB であるが、情報充実ともに 1.7GB のデータサイズとなる予定である。

ウ. 材鑑データ

本材鑑データでは世界中から収集された木質資源の標本に関わる資料を集約したもので、(ア) 材鑑標本データ、(イ) 顕微鏡標本データ、(ウ) 歴史的建造物古材データ、(エ) 日本産木材の記載ならびに顕微鏡写真データ、(オ) 中国産木材の記載ならびに顕微鏡写真データ、(カ) 日本の遺跡出土木製品データを含む。(ア) と (イ) については、データ入力完了しており、今後新たに受け入れた標本については追加入力のみを必要とする。(ウ) については、既往の入力済みの古材データに、新たに収集した古材データの入力を進行中である。特に、材鑑室の主要な展示物として展示に主力を注いだ。(エ) 概ね記載および顕微鏡写真撮影は終了しているが、一部不足している樹種の追加と細部にわたる顕微鏡写真の追加を今後進める予定である。これと平行して英文化を進めており、一通り翻訳作業が終了したので今後英文校正を行う予定である。(オ) 日本産木材に比べて 2 倍以上の樹種数となる見込みで、中国の研究者の協力の下に記載を進行中である。一部顕微鏡写真の撮影も行ってきた。最終的には中国語、英語、日本語の三カ国語にて整理する予定であるので、今年度中の完成は難しい。(カ) わが国の遺跡からはこれまでに膨大な量の木質遺物が出土しており、その一部について樹種同定がなされている。これをデータベース化し、樹種と用途との関係を定量化して解析することを目指している。そのために、全国都道府県に点在する埋蔵文化財センターの協力の下に全国規模でデータを集約中である。

(ア) については、地球規模での生物多様性の重要度に則して、遺伝子資源でもある木材標本を森林総合研究所とともに複数の信頼度の高い研究機関で収集整備し、今後の研究に活用させる。(ウ) 歴史的建造物古材は木材の老化という長年の命題を解決する上で大変貴重なものであり、当該研究所独自のコレクションとして、今後積極的に収集する必要性が高い。(イ) と (エ) はわが国の木質文化財の樹種の調査の需要が多い昨今において、樹種同定の基本となるデータとして大変価値のあるもので、完了後には多方面からの利用が見込まれる。(オ) 中国において、わが国がたどってきたのと同じように遺跡出土木材を始め木質文化財の樹種の調査の必要性が一段と増加することが見込まれる。中国の研究者に提供し、かつ協力・指導していく上で貴重なデータとなる。(カ) わが国における人と木の関係を深く知る上で必要不可欠なデータを提供する。

プロジェクト共同利用

1. 概要

生存圏の正しい理解と問題解決のために、環境計測・地球再生、太陽エネルギー変換・利用、宇宙環境・利用、循環型資源・材料開発をミッションとし、ミッションと深く関わる研究テーマについて、全国・国際レベルでプロジェクト研究を展開するとともに、公開シンポジウムを積極的に開催して成果を社会に発信する。

2. 本年度のシンポジウム実施状況

本年度は、生存圏研究所の新たな全国共同利用化の展開を目指し、シンポジウムを合計19件（予定を含む）開催した。そのうち、「全国共同利用化に向けた生存圏シンポジウム」と題したものが10件、従来からの全国共同利用関係が5件、研究所ミッションに関係したものが4件である。

全国共同利用化に向けた生存圏シンポジウム

- | | |
|---------------------------|--|
| 第1回 (2004. 10.13 木質ホール) | 「生存圏における木質の循環解析」 |
| 第2回 (2004. 11.18 木質ホール) | 「次世代循環型資源複合材料
ーグリーンコンポジットからナノコンポジットまでー」 |
| 第3回 (2004. 12.8 木質ホール) | 「生存圏科学における生態学研究とDOL/LSF」 |
| 第4回 (2005. 1.20 木質ホール) | 「生存圏フロンティアとしての宇宙環境・利用
ー宇宙太陽発電から惑星探査までー」 |
| 第5回 (2005. 2.14 セミナー室) | 「生存圏データベースの構築に向けて」 |
| 第6回 (2005. 2.15 木質ホール) | 「木・土・竹 自然素材を活用した木造軸組住宅の
提案とその利用」 |
| 第7回 (2005. 2.24 木質ホール) | 「木の文化と科学 ー自然科学と人文科学の接点を探る」 |
| 第8回 (2005. 2.22-23 遠隔講義室) | 「宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会」 |
| 第9回 (2005. 3.17 遠隔講義室) | 「赤道大気レーダーによる電離圏研究とその広がり」 |

ミッション関連シンポジウム

- | | |
|----------------------------|--|
| 2005. 1. 18 (木質ホール) | 「MLT レーダー国際共同観測による赤道・低緯度大気研究 国際ワークショップ」 |
| 2005. 2. 1 (生存圏科学セミナー室) | 第9回生存圏波動分科会「生存圏、宇宙太陽発電所と波動」 |
| 2005. 2. 28 (木質ホール) | 「持続的生存圏創成のためのエネルギー循環
シンポジウムー 宇宙太陽発電とバイオマス変換ー」 |
| 2005. 3. 3 (木質ホール) | 生存圏学際新領域の開拓に向けた「萌芽ミッションシンポジウム」 |
| 2005. 3. 14 (木質ホール) | 第3回アカシアマンギウムシンポジウム
ーアカシア林における大気観測ー |
| 2005. 3. 15 (京大会館) | 保存処理木材の環境へのインパクト国際シンポジウム
「生存圏における安全で健全な環境を実現するため」 |
| 2005. 3. 26-31 (百周年時計台記念館) | 第7回宇宙空間シミュレーション国際学校 |

3. プロジェクト研究の概要

(国内プロジェクト研究)

- ① 生命工学による木質資源回復と地球再生プロジェクト

再生型生存基盤である木質資源の生産利用システムの基盤構築を大目標とし、長期的展望に立った研究戦略を検討するシンポジウムを企画・開催し、わが国の木質生命科学の拠点として育てる。同時に、1) 森林生命システムの解明と環境修復、2) 木質形成バイオシステムの解明と木質分子工学、3) 生命工学による熱帯木質資源の持続的利用研究を推進する。また、本プロジェクトの遂行には、組換え樹木を育成するための閉鎖系大型温室が必要不可欠であり、平成18年度に概算要求をしていく。

② バイオマスエネルギープロジェクト

持続的生存圏の確立のため、光合成による炭素固定化物である木質系バイオマスをエネルギーのみでなく化学品や機能性材料に変換する生物化学的及び熱化学的変換プロセスを開発する共同研究を立案する。「石油化学」に替わり、バイオマスからエネルギーや有用物質を生産するため、異なる専門性をもった学内外の研究者が結集して、環境負荷の少ない新規変換プロセスを確立する。

③ 低環境負荷・資源循環型長寿命木造住宅プロジェクト

質的に豊で、真に健康的で、100年の耐久性を持ち、かつ耐震性能に優れた、21世紀に相応しい木造軸組み構法住宅を目指して、「自然素材活用型木造軸組構造住宅の開発」、「環境調和型木造住宅保守管理システムの開発」、「解体廃材の選択的木炭化技術に関する研究開発」、「住宅の調湿能判定法の開発」等の基盤的技術の開発を行う。

④ 地球大気情報の総合解析プロジェクト

ミッション1「環境計測・地球再生」の一環として、地球大気変動をモニターしそのメカニズムを解明するため、将来予測に足る精緻な定点(地上)観測と衛星からのリモートセンシングに代表されるグローバルな観測データを総合的に収集したデータベースの構築を目指している。これらのデータは「生存圏データベース」の一つとして、全国共同利用に供する予定である。

⑤ 宇宙電磁環境衛星観測プロジェクト

宇宙空間における電磁環境の変化を衛星によるプラズマ波動観測・解析によって明らかにすることを目的とする。GEOTAILプラズマ波動観測では日米共同ミッションとして成功を収めており、更に、平成16年度には、水星ミッション(BepiColombo)に、本研究所が中心となり日欧で共同提案したプラズマ波動観測が採択され、国内共同研究者とともに、宇宙電磁環境探査に関する日米欧の共同研究プロジェクトを大規模に展開・発展させていく。

⑥ 生存圏植物材料フロンティアプロジェクト

人類の持続的生存に資する新しい植物材料の創成を目指し、国内外の研究者が参加して、形質転換植物材料、セルロース系ナノファイバー複合材料、木質炭素材料など、植物材料開発のフロンティアに取り組む。ミッション4の関連事業として、プロジェクト型全国共同研究を推進する。

⑦ 生存圏における木質の循環解析

インドネシアスマトラ島における20万haのアカシア産業造林地をフィールドとし、森林圏および大気圏の炭素、水蒸気などの物質循環を精測して、物質フロー解析やライフサイクル評価による環境負荷影響評価を行う。これによって、大気圏・森林圏の圏間相互作用を明らかにし、地域の環境と木材の持続的生産の維持およびそこから生まれる木質資源の利活用を図る。

(国際プロジェクト研究)

国際プロジェクト研究については、各専門委員会が実施している国際共同研究(赤道大気レーダーEAR等)に基づくもののほか、「日本学術振興会拠点大学方式による学術交流に関係する国際共同研究」、「宇宙空間シミュレーション国際学校」、「インドネシアにおける赤道大気観測に関する啓蒙的国際活動」、「科学衛星GEOTAILプラズマ波動観測による国際共同研究」、「水星探査ミッションにおける欧州との国際共同研究」、「赤道太平洋域における大気微量成分の国際共同観測」、「アカシアマンギウム林をフィールド拠点とした国際共同研究」等々を推し進めている。

また、国際学術協定(MOU)を取り交わしている研究機関との国際共同研究や、その他の多くの課題について国際共同研究を行っている。

生存圏学際萌芽研究センター

1. 概要

当センターは、萌芽研究分野、融合研究分野（学内共同）、および学際研究分野（学内共同）の3分野から構成されている。その目標は、生存圏のミッションに関わる融合的、萌芽的研究を発掘・推進し、中核研究部および開放型研究推進部と密接に連携して、創成的新領域を開拓することにある。そのため、専門的知識を有し、萌芽的、創成的な研究に専念するミッション専攻研究員を配置している。また当研究所教員が網羅できない研究領域を補うために、学内客員（兼任）を招聘し、人間生活圏から森林圏、大気圏、宇宙空間 圏に至る圏間科学を推進し、これら4圏を融合した生存圏の学際新領域への展開に努めている。セミナー、フォーラム、講演会、研究会などを企画し、研究成果を公表して生存圏が包摂する4圏のより深い相互理解と協力を促し、これに基づく新たな研究ミッションを創成・推進することも任務のひとつである。

1.1 当センターの構成員

ミッション専攻研究員、所内教員、学内共同研究者（兼任）、学外研究協力者

1.2 ミッション専攻研究員の公募

京都大学生存圏研究所では、ミッション専攻研究員を配置している。ミッション専攻研究員とは、研究所の学際萌芽研究センターあるいは開放型研究推進部に所属し、生存圏科学の創成を目指した4つのミッション（環境計測・地球再生、太陽エネルギー変換・利用、宇宙環境・利用、循環型資源・材料開発）に係わるプロジェクトの研究に専念する若手研究者で、公募によって選任している。

2. 本年度の実績

2.1 シンポジウム

タイトル：生存圏学際新領域の開拓に向けた『萌芽ミッションシンポジウム』

開催日時：平成17年3月3日（木）午後1時～5時45分

開催場所：生存圏研究所木質ホール 3F

内容：ミッション専攻研究員による研究成果の発表（6件）と萌芽ミッションプロジェクト研究報告（9件）を行った。

2.2 平成16年度生存圏学際萌芽センターオープンセミナー

平成16年10月25日（月） 12時～13時

中山 友栄：保存処理木材に由来する金属元素の環境内挙動 ー特に水循環の立場からー

田邊 俊朗：エタノール生産の為の担子菌とマイクロ液による木材前処理

平成16年11月22日（月） 12時～13時

坪内 健：生存圏マクロ診断手法の開発に向けて

Gernot Hassenpflug：MUレーダを用いて大気乱流イメージングについての研究

平成16年12月24日（金） 12時～13時

廣岡 孝志：植物・根圏微生物共生系による内分泌錯乱物質の環境浄化

小林 正彦：アカシア大規模造林地における持続的・循環的生産システム構築のための
栄養塩および微量必須元素のフロー解析

平成 17 年 1 月 31 日（月）

中山 友栄：保存処理木材に由来するホウ素の環境内挙動

田邊 俊朗：木材からのバイオエタノール生産 ～白色腐朽菌とマイクロ波による複合前処理～

2.3 ミッション専攻研究員の研究概要

廣岡孝志：「植物を用いた内分泌攪乱物質の環境浄化技術の開発」

植物と微生物共生系による環境浄化研究の基盤整備が進んだ。また、本研究を遂行するための設備など、新しい環境が整えられた。

中山友栄：「保存処理木材に由来するホウ素の環境内挙動」

- ①薬剤処理から環境中への溶脱にいたるまで、注入処理過程においてホウ素同位体比は変化しない。
- ②ホウ素化合物の土壌への吸着は非常に少ない。
- ③市販の木製品については、調理用品を含むゴムノキ製品において薬剤処理が確認された。
- ④樹種によって微量元素としてのホウ素の同位対比は異なる。

これらの結果から、安定同位体的手法が木材保存薬剤に含まれる金属元素の環境内挙動の把握に有効であることが明らかとなった。なお、本研究成果については、「日本木材学会大会」及び「保存処理木材の環境へのインパクト国際シンポジウム」において発表した。

田邊俊朗：「スギからエタノール ～白色腐朽菌とマイクロ波による前処理～」

マイクロ波と微生物を利用した木材の変換という研究テーマに取り組み、木材の糖化・発酵にマイクロ波と担子菌を組み合わせた前処理が有効であることを示した。これにより、「菌処理と電磁波を利用する木質バイオマス変換」という学際的な学問分野が開拓された。

坪内 健：“Statistical properties of intense geomagnetic storms based on extreme value theory”

生存圏状態を記述するマクロパラメータの統計解析によるリスク現象評価という、従来の専門分野の枠を超えた「生存圏科学」の骨格となる研究活動の新規開拓に貢献した。この研究は更にリスク発生の時系列シミュレーションへの発展も視野に入れており、生存圏研究所の理念の一つである「生存圏の診断」を行う上での重要な手法として期待できる。

小林正彦：「アカシアマンギウム樹皮中の栄養塩および微量元素の分析と林地還元性の検討」

現在、ミッション4「循環型資源・材料開発」に関連して、インドネシア・スマトラ島南部のアカシア大規模造林地をフィールドとして、アカシアプロジェクトが進行している。プロジェクトの一課題である「地域環境と木材生産を維持するための技術開発およびその最適化」に関し、原料供給源である森林の安全という観点から、本研究では、アカシアマンギウム樹皮のタンニン分収後の残渣を安全かつ効果的に更に出る限り簡便な手法で、林地に還元する技術開発に焦点を絞り、アカシア樹皮中の栄養塩および微量元素の定量分析、また、最適な樹皮残渣還元方法の検討を行った。

アカシア樹皮中の栄養塩および微量元素の定量分析を行った結果として、樹皮搬出による微量元素の林地からの収穫量に関する知見が得られた。さらに樹皮の部位により各元素の存在量が異なり、ある程度一定の傾向を示すことが明らかとなった。また、アカシア樹皮の林地還元方法を検討した結果、未処理、灰化、炭化処理を行った樹皮を温水抽出した際の構成陽イオン濃度はイオンの種類によりそれぞれの傾向が異なったが、処理方法に拠らずほぼ同様の傾向を示した。

これらの結果は、最適な樹皮の林地還元方法を検討する上で有益な知見であり、ミッションの進行に貢献するものである。

Gernot Hassenpflug : “Radar imaging as a means to study turbulence generation mechanisms and transport”

光・電波・音波による新大気計測法開発に関する共同研究プロジェクト」に従事させ、MU レーダー超多チャンネルシステムを利用した大気の 3 次元イメージング観測法の開発を進めた。新しい大気レーダー観測法の研究進展に顕著な効果があった。

2.4 萌芽研究プロジェクトの成果

研究課題：植物・根圏微生物共生系による内分泌攪乱物質の環境浄化技術の開発

研究組織：代表；廣岡孝志（ミッション専攻研究員）、共同研究者；矢崎一史（森林圏遺伝子系統御分野）

研究概要

今日までの人類活動の急速な拡大は、化石燃料の多量消費による地球温暖化や酸性雨などの大気汚染、重金属類や本来自然界に存在しない合成化学物質による環境汚染など自然生態系に多大な悪影響を与え続けている。近年、その中でも内分泌攪乱物質（Endocrine Disrupting Chemicals：以下 EDCs）による環境汚染が問題になっている。EDCs は内分泌攪乱作用を有し、非常に低い濃度で人や生態系に影響を与えることが疑われている。環境省から内分泌攪乱作用が疑われる合成化学物質としてリストアップされている物質の多くは、自然界における分解作用に対して高い抵抗性を有しており、長期間環境中に残留し、生態系を構成する生物種に対し多大な悪影響を与えることが懸念されている。従って、これら EDCs の環境浄化技術の開発は、人の健康を守るだけでなく生態系の保全においても重要な課題である。

現在、合成化学物質に対して分解能力を有する微生物種を利用した環境浄化技術いわゆる bioremediation 技術が、従来の物理・化学的な処理技術に変わる環境低負荷かつ低コスト浄化技術として注目されている。しかし、実汚染環境中においては、汚染物質の分解活性維持に必要な微生物種のポピュレーションの維持が難しいことや、汚染物質が低濃度の場合、分解微生物がその物質を十分に分解できないなどの問題があり、bioremediation 技術は実用化にはいたっていない。

一方、植物を用いて汚染環境を浄化する phytoremediation も注目されている。光独立栄養生物である植物は、大気中の CO₂ を炭素源として浄化に必要な植物体バイオマスを維持できること、浄化後植物体の回収が比較的容易であるなどの利点を持ち、上記の bioremediation における問題を解決することができる。従って、phytoremediation は、低濃度・拡散汚染を引き起こす物質の浄化に適している。また、回収した植物体は、エタノールなどのバイオマスエネルギー生産の原材料として利用することができる。そこで、工場跡地や廃棄物処分場など EDCs により汚染された土壌を植物により浄化し、得られた植物バイオマスをエネルギー生産に利用する次世代の資源循環型社会に適合した新しい環境浄化技術の開発を着想するに至った。

研究課題：木材保存領域への安定同位体手法導入に関する基礎的研究

研究組織：代表；中山友栄（ミッション専攻研究員）、共同研究者；吉村剛（居住圏環境共生分野）、藤川陽子（原子炉実験施設）

研究概要

本研究は、ホウ素安定同位体比を指標として、環境に存在しているホウ素の環境内挙動を把握することを目指し、薬剤処理過程および市販木材のホウ素安定同位体比を明らかにすることを目的としている。本研究は次の 3 つに大別される。

①「薬剤処理過程の同位体分別効果の確認」：試料（スギ、ベイツガ、ゴムノキ、モウソウチク）に減圧注入によって薬剤を含浸させて薬剤処理試料の作製を行った。その試料を用いて、処理薬剤、無処理材、処理材、処理材からの溶脱液のホウ素安定同位体比の測定を行った。その結果、ホウ素安定同位体比は薬剤処理過程においては変化しないことを確認した（処理剤の同位体比： $11\text{B}/10\text{B}=4.085$ ）。一方、無処理材

については、微量ではあるがホウ素を含んでおり、その安定同位体比は樹種によって異なっていることが明らかになった。

②「流通している材のホウ素濃度および同位体比測定」：試料は「木材メーカーの処理材および処理剤」と「量販店で購入した材および木製品」の2つに分類される。処理剤のホウ素安定同位体比は天然に存在するホウ素の同位体比 ($11B/10B=4.044$) と同程度であったが、処理材の同位体比はそれより大きい値であった。一方、市販木材中のホウ素濃度を測定したところ、一般的に処理が施されていると考えられるゴムノキおよびタケについても微量のホウ素が確認されたに過ぎなかった。この場合、ホウ素は各材の微量成分であると考えられるが、ほとんどすべてが天然の存在比よりも大きな値（天然存在比よりも11Bが多い）を示し、試料によって異なる値を示すことが明らかになった。

③「ホウ素の土壌吸着」：2段階のホウ素濃度（100ppm、1ppm）について5種の土壌による吸着量をICP発光分光分析装置によって測定したところ、振とう後の濃度はわずかに低下したに過ぎなかった。

研究課題：スギからエタノール ～白色腐朽菌とマイクロ波による前処理～

研究組織：代表；田邊俊朗、共同研究者；渡邊隆司（バイオマス変換分野）、篠原真毅（生存圏電波応用分野）、三谷友彦（生存圏電波応用分野）

研究概要：

スギなどの針葉樹を酵素糖化・微生物代謝により高効率でエネルギー物質へ変換する。そのため、脱リグニン能が高い担子菌を活用する木材腐朽処理と、木質による減衰吸収を考慮した周波数5.8GHZのマイクロ波照射処理を組み合わせることで、既存の手法による糖化率を凌駕する糖収率の高い木材前処理技術を開発し、最終産物であるエタノールの高収率を達成する。

研究課題：アカシアマンギウム樹皮中の栄養塩および微量元素の分析と林地還元性の検討

研究組織：代表；小林正彦（ミッション専攻研究員）、研究協力者；矢野浩之（生物機能材料分野）、川井秀一（循環材料創生分野）

研究概要：

現在、インドネシア・スマトラ島南部に広がる19万ヘクタールのアカシア大規模造林地をフィールドとし、木質資源の生産利用と環境保全の調和を目指し、「アカシアプロジェクト」として次の4課題が進行している。①衛星観測、大気観測による人工林の動態の俯瞰的把握、②土壌、森林および大気間の炭素、酸素、水蒸気などの物質循環の精査、③物質フロー解析やライフサイクル評価による環境影響評価、④地域環境と木材生産を維持するための技術開発およびその最適化、である。

プロジェクトの一課題である「地域環境と木材生産を維持するための技術開発およびその最適化」に関し、産業林としての経済性向上を目的として、アカシアマンギウム固有の利用技術開発が望まれている。このような状況の中、タンニン含有量の多いアカシアマンギウムの特色を生かし、樹皮から物理的操作のみにより高純度のタンニン粉末を製造する方法が確立され、接着剤等へ利用が検討されている。原料供給源である森林の保全という観点から現状で最も懸念される問題の一つとしては、丸太搬出による林地からの養分収奪による樹木の生育不全、そしてその結果として起こる木材の持続的生産の破綻が挙げられる。特に七年ほどで製品として利用できるほどに急激に成長するアカシアマンギウム単一林の場合、その収奪量は大量となることが推測できる。木材生産維持のためには、丸太の林地からの搬出によりどのような物質がどのくらいの量、どのような形で奪われているかを精測し、何らかの手法を用い収奪した分を適当な形で林地に還元する必要がある。

研究課題：エネルギー収支の確率的変動に基づく生存圏リスク評価の数理モデル開発

研究組織：代表；坪内 健（ミッション専攻研究員）、共同研究者；大村善治、（生存科学計算機実験分野）松本紘（宇宙圏電波科学分野）、川井秀一（循環材料創生分野）

研究概要：

現代において、人間生活圏の生産・消費活動は、宇宙空間圏・大気圏・森林圏といった自然界の物質・エネルギー循環に非平衡状態をもたらし、その結果は互いの共存を不安定なものにしている。この本来対立するプロセス同士の調和を目指すためには、生存圏研究所が研究理念に掲げている、生存圏状態の「診断」とこれを持続可能なものとするための「治療」が必要である。本プロジェクトは前者の「診断」に関して、特に環境の壊滅的な打撃＝リスク発生を統計的に評価するというもので、これが生存圏「治療」技術開発の必要性を裏付ける上での基礎データを提供することになる。本研究で目指すのは、生存圏各相内部で生じているリスク現象が他の相との相互作用によって次第に散逸されて「生存圏」システムの維持に至る時系列変動を解明するための数理モデルの構築である。そのための準備として、各リスク現象の時系列特性の詳細な理解が必要となる。

本研究ではまず、宇宙空間圏における「生存圏リスク現象」として地磁気嵐を取り上げる。これは地球磁気圏内に大量に流れ込んできた太陽風プラズマが作る電流の影響で地球磁場が変動する現象であり、放射線帯の粒子フラックス急増による人工衛星の回路損傷や通信障害などをもたらすことから、生存圏持続を脅かす「自然災害」として改めて認識すべきものである。地磁気嵐の規模を示すDst指数(1時間値)の過去45年間(1957-2001)のデータセットから、特に強度(Dst < -100nT)の変動イベントを抽出し、その統計的性質を論じる。個々のイベント発生を互いに独立事象とみなした上で発生頻度や強度分布を検証するが、これを正規分布としてフィッティングを行うと特に地磁気嵐に代表される「極端現象」が過小評価される。そこで本研究では極値統計を適用することで、地磁気嵐発生の分布をより精密に評価し、年単位の発生確率を求める。本解析により、ピーク時にDst < -100nTとなる磁気嵐の発生頻度がほぼ1ヶ月に1度程度であることが確認され、更に過去45年間で10例に見たような大規模なものについてもそのレベルを推定した。本研究で得られたパラメータを基に、今後の宇宙天気における地磁気嵐の中・長期予測モデルの作成も計画している。

研究課題：熱帯樹の生長輪解析に関する基礎研究

研究組織：代表；津田敏隆(大気圏精測診断分野)、杉山淳司(バイオマス形態情報分野)、Bambang Subiyanto(インドネシア科学院・生物材料研究センター)、谷尾元聡(大気圏精測診断分野)

研究概要：

熱帯域での地上気象観測は歴史が浅いため、長期的にデータを蓄積している観測点が少なく、またデータの連続性・信頼度も低い。赤道域、特にインドネシアを含むインド洋・西太平洋域はエルニーニョ現象で代表される気候変動の駆動源である。エルニーニョ等に同期して距離を隔てた地点でも気候変動が起るため(テレコネクションと呼ばれる)、赤道大気の変動特性を解明することは全世界の気候変動を知る上でも重要である。特に長周期に亘る過去の気候変動を知ることは気候システムの理解を深めるとともに、将来の予測精度向上につながる。

しかし、熱帯域での地上気象観測は十分とはいえず、古くから長期的にデータを蓄積している観測点が少なく、データの連続性・信頼度も低い。長期気候変動を研究するには直接観測がなくても気象状態を推定しうる研究手法が有用であり、樹木年輪、珊瑚年輪、アイスコア、花粉などを解析する手法を用いて気候復元が行われている。この中で樹木年輪を用いる手法は年輪気候学と呼ばれる。年輪気候学は一年の精度で気候変動を取り出すことができ、且つ比較的古い時代まで遡ることができることが特徴である。そこで樹木年輪から測定した樹木生長より気候変動を推定する年輪気候学を直接気象観測が乏しい熱帯域に発展させるための基礎研究を行った。

熱帯樹には一般に生長輪が生成されないとされているが雨季乾季の明瞭な地域では樹木は生長輪を形成しうる。これまでの調査によりチーク(*Tectona grandis*)、スンカイ(*Peronema canescens*)をはじめとするいくつかの樹種では生長輪ができることが分かっている。熱帯では主に降雨量が樹木生長を支配すると考えられている。本研究では研究対象地域としてインドネシアを選択した。インドネシアでの年輪気候学は前例が少なく、わずかにBerlage(1931)が400年に亘るチーク年輪曲線を作成したこと、およびJacobyとD'Arrigo(1989-90, 1994)らによるその後継研究報告があるのみである。本研究では生長と気候との関

係を研究し、長期気候変動の解明を目指す。国内外でも熱帯における生長輪解析は未成熟な研究分野である。生存圏研がこれまでインドネシアにおいて構築してきた木質・大気科学に関する共同研究体制を基礎に、新たな研究課題に挑戦する。

研究課題：マイクロ波照射による植物遺伝子の発現変動に関わる分子生物学的解析

研究組織：代表；矢崎一史（森林圏遺伝子統御分野）；共同研究者：篠原真毅（生存圏電波応用分野）、三谷友彦（生存圏電波応用分野）

研究概要：

マイクロ波は我々の生活の中で様々な形で利用されており、その有用性は今後も拡大していくことは必至である。しかし一方でマイクロ波が生物に対して及ぼす影響は、科学的に追及されるべき重要な課題である。従来も、我々ヒトを中心とした動物に対するマイクロ波の影響は活発に研究されているが、一方地球上生物を支える植物を対象とした研究は例がない。そこで、本萌芽プロジェクトでは、将来の宇宙太陽発電所構想に伴うマイクロ波の植物に対する影響を、様々な波長帯、およびエネルギーレンジで検討するとともに、電磁波による植物遺伝子発現の人為的制御技術の開発も視野に入れて、マイクロ波照射による植物遺伝子の発現変動に関する分子生物学的解析を行った。

研究課題：生物多様性を目指した人工林の特性評価

研究組織：代表；野淵 正（農学研究科）、共同研究者；矢野浩之（生物機能材料学分野）、Mohd. Hamami Sahri（マレーシア・プトラ大学・森林学部）

研究概要：

世界の森林が減少している現状の中で、人工林の造成は急務である。人工林はしかし、ただ増やせばよいというものではない。森林の持つ多様な機能を可能な限り発揮できる人工林が求められているからである。

そこで、本課題では生物多様性を目指した人工林に目を向けた。すなわち単純林からなる人工林は、たとえば病虫害の発生においても危険性が高い、という前提に立ち、2種以上の樹木からなる人工林の特性を調査した。具体的には、日本ではスギ人工林における強度間伐による下層植生の導入、また熱帯の事例として、マレーシアの *Acacia mangium* と自生種との複層林施業をとりあげ、これらの特色を整理し、問題点について考えた。

研究課題：宇宙用導電性木質材料の開発

研究組織：代表；小嶋浩嗣（宇宙圏電波科学分野）、共同研究者；畑 俊充（居住圏環境共生分野）、上田義勝（宇宙圏電波科学分野）

研究概要：

宇宙空間は、プラズマによる電磁現象が環境を支配する空間である。特に、そこを満たす宇宙プラズマは、無衝突状態にあり、そのため、そこで発生している現象を放射されるプラズマ波動が媒体となっていることになり、つまり、そのプラズマ波動をモニターすれば、そこで発生している現象を通して、その電磁環境の変化を予測することができる。本研究は、宇宙空間における電磁環境の変化をモニターする、「宇宙電磁環境モニター」の筐体を軽く、丈夫で、宇宙デブリになりにくい素材で作成するため、導電性木質材料をターゲットにおき、宇宙用という観点で見直し、試作することによって、宇宙で利用するのに耐えられる材質として仕上げる研究である。

研究課題：宇宙太陽発電のための自己放熱性木質系炭素基板材料の開発—ウッドカーボンスパッタリング装置の試作—

研究組織：代表；畑 俊充（居住圏環境共生分野）、共同研究者；菊池 光（エス・エス・アロイ（株））、橋本弘蔵（生存圏電波応用分野）、今村祐嗣（居住圏環境共生分野）

研究概要：

宇宙太陽発電において、発電部は太陽光にさらされることで、加熱され高温となる。このような発電部の過度の加熱は発電効率を低下させる要因の一つであるため、軽量かつ高耐熱・高強度放冷材料の開発が望まれる。そこで、本研究では、通常は欠点とされる木質材料の異方性を利用するという逆転の発想を取り入れ、熱的異方性をもった自己放熱性木質炭素基板材料の開発を目的とした。材料の熱的異方性を利用することで、材料表面に沿った熱の移動を高効率に行う宇宙太陽発電用木質系炭素材料の開発を目指す。本年度はウッドカーボンスパッタリング装置の試作に重点をおいた。本装置を用いてターゲット材料やスパッタリング条件の選択によって木質炭素の微細構造を制御することにより、自己放熱性木質炭素基板材料の設計を効率的に行うことができるだろう。

研究課題：乾燥状態での木材の生分解利用をめざした乾材シロアリの食材機構の解明

研究組織：代表；東 順一（農学研究科）、角田邦夫（居住圏環境共生分野）、吉村 剛（居住圏環境共生分野）

研究概要：

シロアリは木材の食害性昆虫であり、木質材料の保存と長期有効利用を保障するためにその被害をくい止めることが急務となっている。しかし、視点を変えると、シロアリはたぐいまれな木材の分解工場を体内に有し、地球上の炭素源のリサイクルに貢献する優れた生物と言える。このシロアリは、後腸内に原生動物と共生している下等シロアリとキノコやバクテリア等の助けを借りている高等シロアリに大別される。

我国では、建築物に被害を与えるシロアリとして、下等シロアリのイエシロアリとヤマトシロアリ、アメリカカンザイシロアリ、ダイコクシロアリが知られている。そのなかで、アメリカカンザイシロアリとダイコクシロアリはレイビシロアリ科に属する乾材シロアリで、前二種のシロアリとは生態、加害習性等が顕著に異なっている。前二種のシロアリによる木材成分の分解機構は申請者・共同研究者を含めての研究によりかなり解明されてきた。しかし、乾材シロアリは乾燥条件下で木材を分解・利用しているため、その分解機構はイエシロアリやヤマトシロアリによる分解や従来行われてきた加水条件下での木材成分の酵素分解とは著しく異なっていると予想される。この観点からの研究例は認められない。また、イエシロアリやヤマトシロアリは有効なベイトシステム、防蟻剤等が開発されてきているが、乾材シロアリについては防除法が未だ確立されていないため、早急に対策をこうじる必要がある。アメリカや東南アジア地域においても近年乾材シロアリによる被害の深刻化によりその対策は急務となっている。

本プロジェクトでは、我国の代表的な乾材シロアリであるアメリカカンザイシロアリとダイコクシロアリを対象として、その木材分解機構の解明を手がかりとして将来における木材成分の新規な有効利用法の開発と乾材シロアリ防除法の開発・防除剤の開発に発展することを期待して研究を行った。

研究課題：化石資源制約下における生存圏シミュレーションプログラムの開発

研究組織：代表：大村善治（生存科学計算機実験分野）、共同研究者：木村年成（生存科学計算機実験分野）、松本 紘（宇宙圏電波科学分野）、臼井英之（生存科学計算機実験分野）、川井秀一（循環材料創成分野）、矢野浩之（生物機能材料分野）、Gernot Hassenpflug（レーダー大気圏科学分野）

研究概要：

生存圏の人間活動に必要なエネルギー・物質循環に関する定量的な評価を行う。また、インドネシアのアカシア大規模植林地を対象として、大規模植林地によるバイオマス生産量を衛星リモートセンシングデータより直接推定する。

研究課題：森林が生産する化学物質を介した動物との応答機構の分子生物化学的研究

研究組織：（代表）浅岡一雄（霊長類研究所）共同研究者；脇田真清（霊長類研究所）、室山泰之（霊長類研究所）、渡辺邦夫（霊長類研究所）、矢崎一史（森林圏遺伝子統御分野）、梅澤俊明（森林代謝機能化学分野）、吉村剛（居住圏環境共生分野）

研究概要：

樹木から生じる二次代謝物のうち桂皮酸アミドについてサルでの応答性を調べ、採食嫌悪を示すことが示された。

研究課題：伝染病に対する気象・気候因子のインパクトに関する統計的研究ーバングラデシュのコレラなどの下痢疾患を例としてー

研究組織：代表；林 泰一（京都大学防災研究所）、共同研究者；山田道夫（数理解析研究所）、寺尾 徹（大阪学院大学情報学部）、我妻ゆき子（バングラデシュ国際下痢疾患研究センター）、Md. Nazrul Islam（Bangladesh University of Engineering and Technology）塩谷雅人

研究概要：

熱帯地域では、デング熱、マラリヤやコレラなどの伝染性疾患が毎年のように流行し、死者が多数発生する。その気象現象との関連については、コレラとエルニーニョの関係、マラリヤの地球温暖化によるグローバル化など、比較的大規模で長期的な気象・気候現象との関係については、最近報告されるようになってきた。しかし、毎年規則的に発生するモンスーンの開始、その気象要素との関係を定量的に評価した研究はほとんどない。さらには、サイクロンや洪水などの単発的な気象災害と、その二次災害としての伝染性疾患の発生についての研究例は少ない。このようなモンスーンの季節内変動や気象災害と伝染性疾患の関係を調べる。

2.5 ミッションプロジェクト研究

生存圏研究所ミッションに関連して以下の研究プロジェクトを実施した。

ミッション1（環境計測・地球再生）

- 「植物由来の大気微量成分（VOC）の乱流観測に関する基盤整備」
- 「森林圏における環境計測・地球再生のための遺伝子単離法の開発」
- 「メタボリックプロファイリングを用いた樹木フェニルプロパノイド代謝の変動解析」
- 「樹木におけるセルロースの分子育種」「引張あて材形成の分子機構の解明」
- 「植物・根圏微生物共生系による内分泌攪乱物質の環境浄化」

ミッション2：太陽エネルギー変換・利用

- 「白色腐朽菌を利用した木質バイオマス変換」
- 「木材加工へのマイクロ波応用に関する基礎技術開発」
- 「木材基板のアンテナ応用に関する基礎技術開発」
- 「木材劣化生物及び放射線を用いた木質バイオマスの効率的エネルギー変換」
- 「自己放熱性炭素基板材料の開発」
- 「マイクロ波がキノコに与える影響」

ミッション3：宇宙環境・利用

- 「宇宙環境シミュレータの開発」
- 「放射線帯高エネルギー粒子生成機構の研究」
- 「小型宇宙電磁環境モニター装置の開発」
- 「宇宙用導電軽量木質材料の開発」
- 「エネルギー収支の確率的変動に基づく生存圏リスク評価の数理モデル開発」

ミッション4：循環型資料・材料開発

- 「低環境負荷・資源循環型長寿命木造住宅」

- 「木造住宅とマイクロ波利用—住宅材料の電波吸収特性とユビキタス電源—」
- 「低環境負荷型シロアリ防除システムの開発」
- 「エコ住宅用空気質調整材料の開発と調湿機能評価」
- 「天然系接着剤の開発」
- 「資源循環型木質系材料開発」
- 「CCA 処理廃棄木材の無害化」
- 「遺伝子発現を指標としたスギの材質特性の解明」

インターミッション

「アカシアプロジェクト」

研究組織：梅澤俊明、服部武文、林隆久、黒田宏之、中村卓司、塩谷雅人、津田敏隆、大村善治、古本淳一、矢野浩之、川井秀一、梅村研二、

学内研究担当教員：太田誠一、谷誠、林泰一

研究概要：

熱帯地域における大規模人工造林と地域環境の調和ある共存は、直近の重要研究課題である。本プロジェクトは、国内外の研究機関・企業と連携して、スマトラ島のアカシヤマンギウム植林地（19 万ヘクタール、大阪府面積に相当）において、大気圏・森林圏・人間生活圏の物質循環の精測を行い、それに基づき、地域の環境を損ねることなく木材生産の持続性と循環性を保証する方策を考えることを目的としている。

これまでの熱帯林の環境研究が主として熱帯雨林などの天然林を対象としていたのに対し、本プロジェクトは、人間の生産活動の場である大規模一斉産業造林を対象としている点を特色とする。また、本プロジェクトの遂行には、大気科学から木質科学まで多様な領域をカバーする国内外の研究者が分野横断的に連携することが不可欠であり、それは新しい学際的学問領域「生存圏科学」の目指すところを明確にする上で、極めて重要である。

平成 16 年度は、生存圏研究所教員、ミッション専攻研究員、学内客員を初めとする学内研究所・研究科教員、インドネシア研究機関研究者、秋田県立大学木材高度加工研究所教員が連携して、1) 衛星リモートセンシングによる大規模造林地のバイオマス生産量の評価、2) 土壌・森林・大気間の炭素・酸素・水などの物質循環のもとになる気象データの収集、3) 森林の物質生産を基にした炭素フローの解析、3) アカシア産業造林の持続的・循環的生産システム構築に資する基盤技術について検討した。また、2003 年度の第 1 回シンポジウム、第 2 回の国際シンポジウム（2003. 10. 21-22）の開催に続き、2005. 3. 14 に第 3 回のアカシヤマンギウムシンポジウムを開催し、研究成果の公表と関連する研究者や技術者の情報交換に努めた。

得られた成果は以下のとおりである。

- 1) ランドサット衛星の可視・近赤外光反射レベルから得られる植生指数（NDVI）を基にしたアカシヤバイオマス量を直接推定する手法を検討し、インドネシア・スマトラ島のアカシヤ造林におけるバイオマス量調査の結果と衛星情報とを比較対応させて、バイオマス推定式を導出した。
- 2) アカシア産業造林を経営する Musi Hutan Persada 社から土壌状況、植林状況等に関する情報を入手し、産業造林地における炭素循環を推定した。
- 3) アカシア産業造林の 3 カ所に降雨量、気温、風速等を計測する気象観測器を設置し、今後の継続的観測の体制を準備した。
- 4) 産業造林の持続的・循環的生産システム構築のために、アカシヤ樹皮に含まれる主要栄養塩の樹皮内分布を明らかにした。

研究業績

当研究所の研究業績は、「自己点検評価報告書」にまとめられており、<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/report/>にて公開されている。以下は平成16年度版の目次である。内容は上記のオンライン版報告書を参照されたい。

平成16年度自己点検評価報告書目次

序	-----	1
1. 研究所の理念	-----	2
1. 1 理念	-----	2
1. 2 目標	-----	2
1. 3 統合の経緯と社会	-----	3
1. 4 社会への貢献	-----	5
2. 研究活動	-----	6
2. 1 研究組織	-----	6
2. 1. 1 中核研究部	-----	6
2. 1. 2 開放型研究推進部	-----	6
2. 1. 3 生存圏学際萌芽研究センター	-----	9
2. 1. 4 ミッション	-----	9
2. 2 研究内容	-----	12
2. 2. 1 各分野の研究概要	-----	12
2. 2. 2 全国共同利用研究	-----	15
2. 2. 3 生存圏萌芽ミッションプロジェクト	-----	28
2. 2. 4 21世紀 COE プログラム	-----	32
2. 3 研究業績	-----	34
2. 4 招待講演等	-----	53
3. 教育活動	-----	82
3. 1 大学院・学部における教育目標	-----	82
3. 2 教育内容(特論など)	-----	82
3. 3 教育活動の成果	-----	84
3. 3. 1 学位(博士+修士)取得状況	-----	84
3. 3. 2 院生の就職状況	-----	85
4. 教員組織	-----	86
4. 1 人員配置	-----	86
4. 2 採用	-----	86
4. 3 人事交流	-----	87
5. 管理運営	-----	90
5. 1 研究所の意思決定	-----	90
5. 1. 1 所長	-----	90
5. 1. 2 協議員会	-----	90
5. 1. 3 専任攻教授会	-----	91
5. 1. 4 運営委員会	-----	91
5. 1. 5 ミッション推進委員会	-----	92
5. 1. 6 教員会議	-----	92
5. 1. 7 開放型推進部運営会議	-----	92

5. 1. 8	全国共同利用専門委員会	-----	92
5. 1. 9	生存圏学際萌芽研究センター運営委員会	-----	93
5. 1. 10	その他の委員会	-----	93
5. 2	研究所の組織	-----	102
5. 2. 1	組織図	-----	102
5. 2. 2	人員構成	-----	102
5. 2. 3	事務組織	-----	102
5. 2. 4	技術組織	-----	102
5. 2. 5	研究教育支援の状況	-----	102
6.	財政	-----	105
6. 1	予算	-----	105
6. 1. 1	予算配分額	-----	105
6. 1. 2	学内特別経費の配分状況	-----	105
6. 2	学外資金	-----	105
6. 2. 1	科学研究費補助金	-----	105
6. 2. 2	奨学寄附金	-----	105
6. 2. 3	受託研究費の受入状況	-----	106
6. 2. 4	民間との共同研究	-----	106
7.	施設・設備	-----	107
7. 1	施設設備の維持管理	-----	107
7. 1. 1	庁舎管理	-----	107
7. 1. 2	実験研究用設備	-----	107
7. 1. 3	危険老朽建物	-----	107
7. 1. 4	実験研究設備の安全・防災対策	-----	108
7. 2	施設設備の将来計画	-----	108
8.	学術情報	-----	112
8. 1	研究所の方針と組織	-----	112
8. 2	図書管理	-----	112
8. 3	生存圏データベース	-----	113
8. 4	京都大学統合情報通信システム(KUINS)との関係	-----	114
9.	国際学術交流	-----	115
9. 1	日本学術振興会(JSPS)拠点大学方式による国際学術交流事業	-----	115
9. 2	国際学術協定(Memorandum of Understanding: MOU 協定)	-----	118
9. 3	国際会議・国際学校	-----	118
9. 4	研究者の招へい	-----	119
10.	社会との連繋	-----	121
10. 1	研究所の広報・啓蒙活動	-----	121
10. 2	民間等との共同研究・受託研究	-----	126
10. 3	教官の学外活動	-----	129

生存圏研究 第1号

発行日	平成18年3月1日
編集兼発行者	京都大学 生存圏研究所 京都府宇治市五ヶ庄
印刷所	ユニバーズ印刷 京都府長岡京市友岡 2-10-2

