

生存圈研究



No. 5

2009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下さい(〒611-0011 宇治市五ヶ庄、電話番号0774-38-3346、E-mail: wabunshi@rish.kyoto-u.ac.jp)。

本第5号は、平成20年度の成果を基に発行します。引き続き、平成21年度の成果に基づく第6号を発行予定です。

編集委員

山本 衛	角田 邦夫	小嶋 浩嗣
師岡 敏朗	田中 文男	今井 友也
畑 俊充	馬場 啓一	三谷 友彦
山本 真之	北守 顕久	反町 始
岸本 芳昌	上地 恭子	

目次

総説

- セルロースの生合成 —その紡糸機構に関する考察— 1
今井 友也
- 木材の長期使用戦略 —地球温暖化防止と住まいの長寿命化— 11
今村 祐嗣
- レーザービームを振りまわせ！！ —大気ライダーのフィールド観測— 19
中村 卓司
- 「かぐや」による月の科学，月での科学，月からの科学 29
橋本弘藏

資料

- インドネシアアカシカマンギウム大規模造林地における降水特性 37
山根 悠介，塩谷 雅人，林 泰一，Rosyid Gunawan

共同利用

- MU レーダー全国・国際共同利用 43
- 電波科学計算機実験全国・国際共同利用 45
- 赤道大気レーダー全国・国際共同利用 49
- METLAB 全国・国際共同利用 51
- 居住圏劣化生物飼育棟/生活・森林圏シミュレーションフィールド全国・国際共同利用 . . 55
- 木質材料実験棟全国・国際共同利用 59
- 生存圏データベース全国・国際共同利用 63
- 持続可能生存圏開拓診断/森林バイオマス評価分析システム全国・国際共同利用 67
- プロジェクト全国・国際共同利用 73
- 生存圏学際萌芽研究センター 77
- 研究業績 103

セルロースの生合成 -その紡糸機構に関する考察*

今井 友也**

1. はじめに

大地に根を張って生きる植物は、自身を形作る細胞の外側に、強固な細胞壁を作り上げる。移動できない植物は、この強固な構造体で自身の体を支えて、その生まれた地で寿命を全うする。ではなぜ植物細胞壁は植物体を支えるほど丈夫なのか？ 時として樹高 100 メートルをも超える樹木は、その実質である細胞壁なくしては自身の体を支えきれないであろう。植物細胞壁の材料性能の高さは尋常ではない。その理由として、「それは植物細胞壁が鉄筋コンクリートのような複合構造だからである」という説明が分かり易い。植物細胞壁はセルロース、ヘミセルロース、リグニンの 3 つを主成分として構成され、セルロースは繊維の形態を取り、ヘミセルロースやリグニンはそれらの間隙を充填するように存在する (図 1)。すなわち鉄筋はセルロース、コンクリートはリグニン、鉄筋をまとめあげ、鉄筋とコンクリートの間を取り持つ役割をヘミセルロースは負っている。ではなぜセルロースは鉄筋と例えられるのか？

それは、上述の植物細胞壁主要三成分 (セルロース、ヘミセルロース、リグニン) の内、セルロースのみが繊維という明瞭な形態を取るからであろう。セルロース合成酵素遺伝子の機能欠損変異体植物では、セルロース含量が低いものや、セルロースが明瞭な繊維状形態を取らないものが得られる。そしてその多くが矮性である (通常より背丈が低い) こと^{1,2)} からも、セルロースを鉄筋に例えることは外的なものではなかろう。一方で、古来より人間はセルロースを日々の生活において様々な用途で使用してきた。綿布や紙がその代表的な例であろう。そのどちらにおいても、セルロースの高強度性が活用されており、やはりセルロースは鉄筋に例えられるだけの性質を持っている。しかし、どうしてセルロースのみが繊維となるのだろうか？

一つは分子そのものの性質、もう一つはその生合成機構にあるものと考えられる。この総説では、特に後者に焦点を当ててみたい。

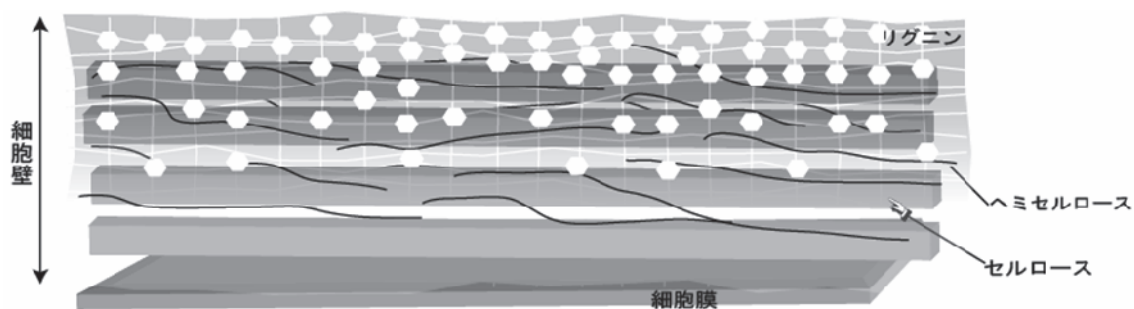


図 1 植物細胞壁のモデル

セルロースは繊維として存在する。一方、ヘミセルロースはセルロースのように集合せず、リグニンは不規則な化学結合で三次元の網目状ネットワークを形成し、この両者は明らかな形態を取らない。

* 2009年6月24日作成 本稿は、第5回生存圏研究所公開講演会 (2008年10月18日における講演要旨に、加筆・変更を行ったものである)

** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所 バイオマス形態情報分野。
E-mail: timai@rish.kyoto-u.ac.jp

2. 生合成の仕組み

2.1 セルロースとは

セルロースの繊維とは具体的にはどのようなものなのか？ セルロースマイクロフィブリルと呼ばれるこの微小繊維は、複数の分子が集合したものである。一本のセルロース分子は、グルコピラノースが、その対角線上に位置する1位と4位の水酸基間で β グルコシド結合したものである。この分子構造により、セルロースには一直線に伸びきったコンフォメーションが与えられる。さらに各グルコピラノース環は、引張り荷重下でも安定にイス型配座を取り続けることができるため、剛直な性質を持つことになる³⁾。セルロースマイクロフィブリルは、このような剛直な分子鎖が、水素結合により規則正しく束ねられることで作り上げられた⁴⁾、高強度な微小繊維（ナノファイバー）である。

しかしここで、「セルロース生合成において、どのようにマイクロフィブリルは形成されるのか？」、より具体的には「どうやって40本弱、多いものでは2000本もの分子鎖を、同じ向きに並べて繊維として紡糸できるのか？」という問いが現れる。これを説明するモデルとして、「重合同時結晶化」あるいは「ターミナルコンプレックス」仮説が現在受け入れられている。

2.2 合成酵素は膜タンパク質

ターミナルコンプレックスとは、「凍結切断レプリカ法」という電子顕微鏡法で観察される、セルロース生産性生物の細胞膜上の特徴的な顆粒構造である（図2）。この顆粒構造は、合成中と思われるセルロース繊維の末端に観察されることから、「ターミナル」コンプレックスと命名され、細胞膜からセルロースが伸びているところだと考えられている⁵⁾。藻類で発見されたのを皮切りに、セルロース生産性生物のほぼ全てで発見されたことから、これがセルロース合成酵素の実体であると考えられた。しばしば議論の的となっていたこの仮説は、近年ようやく免疫ラベル化法により確かめられた^{6,7)}。また蛍光タンパク質融合体のセルロース合成酵素の観察から、セルロース合成酵素が細胞膜上を移動する様子が示唆されている⁸⁾。このように、細胞膜上に酵素を配置することで、酵素重合が終了するや否や、分子を束ねる（すなわち結晶化の）過程に入ることを可能にしていると考えられている。この仮説を重合同時結晶化と呼んでいる。

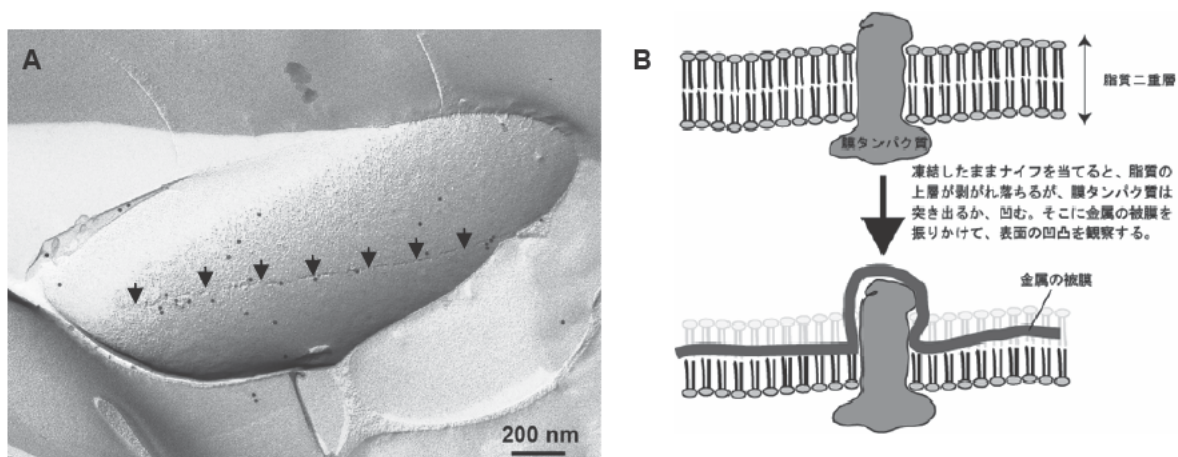


図2 セルロース合成酵素複合体・ターミナルコンプレックス

- A: 酢酸菌の凍結切断レプリカ法による観察像。矢印で標したのが一列に並んだ酢酸菌におけるターミナルコンプレックス。BcsB（セルロース合成酵素の補助サブユニットの一つ）の抗体による金コロイドラベルを施した。
- B: 凍結切断レプリカ法の原理。膜タンパク質の観察に適した方法である。

ターミナルコンプレックスが細胞膜上に見られることから、セルロース合成酵素は細胞膜に存在することが想像される。実際、セルロース生産性生物のセルロース合成活性は細胞膜画分に見られるし⁹⁻¹²⁾、多くの生物種で同定されたセルロース合成酵素遺伝子は、膜貫通ドメインを複数持つタンパク質をコードすることから、明らかな膜貫通タンパク質であると予測されている¹³⁾。そこで、セルロース合成酵素が機能する場である細胞膜について考察する。

2.3 細胞膜とは？

樹木も含めて生物は全て細胞から成り立っている。細胞膜とは、細胞という「生物」を「非生物」である外界から分けている境界である。細胞膜でもって外なる世界から切り離された細胞の中では、生命維持のための反応がいくつも回っている。細胞膜は疎水性（水になじみにくい）なので、細胞はいわばビニール袋の中に反応の役者たちのカクテルを入れて口を閉じたものに似ている。このように書くと、細胞一つ一つは外のことなど全く目もくれずに内部で黙々と反応を回しているように聞こえるかもしれない。しかし生命活動を営んでいるということは、細胞内は細胞外と異なる環境であることを意味する。細胞内外の間には物質やイオンの偏りが存在するので等価ではなく、ポテンシャル差が生じる。より正確には、細胞は積極的にこのポテンシャル差を作り出している。これを上手に使って、細胞は化学的エネルギーの合成反応を回したり、そのために必要な代謝基質（いわゆる栄養）を取り込んだりしている（図3）。さらに動物の神経細胞に見られるような数十メートル毎秒の高速信号伝達も、このポテンシャル差を利用している。

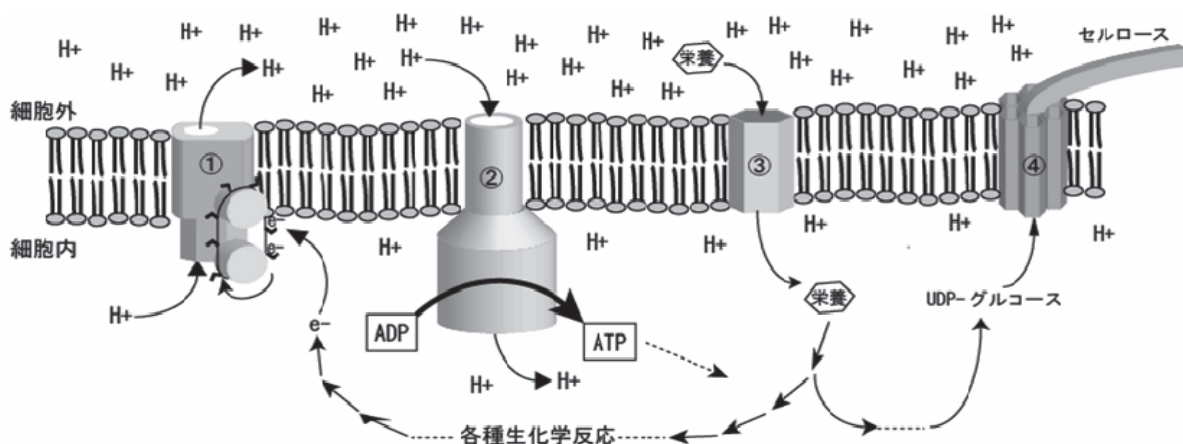


図3 細胞膜を舞台とする重要なイベント例（細菌、あるいはミトコンドリア内膜をモデルとしているので、この場合のポテンシャル差は主にプロトン（ H^+ ）の電気化学ポテンシャル差（プロトン駆動力と呼ばれる）となる）。

- ① 電子伝達系：栄養を分解して得た高エネルギー電子（ e^- ）を使って、 H^+ の汲みだしを行う。実際には複数のタンパク質の複合体である。
- ② ATP合成酵素：プロトン駆動力を利用してATP（細胞内で広く使われる共通エネルギー）の合成を行う。実際には複数のタンパク質の複合体である。
- ③ トランスポーター：各種ポテンシャル差やATPの加水分解エネルギーを利用して、各種分子を細胞内に取り込んだり、細胞外へ排出したりする。単独で機能できる分子である。
- ④ セルロース合成酵素：細胞内でUDP-グルコースからセルロースへの末端へのグルコース転移反応を行う。複合体と推測されている。

細胞内外にポテンシャル差を作り出し、それを利用してエネルギー合成反応や物質交換を行うこれらの機能の分子実体が、その境界である細胞膜に存在する膜タンパク質でなければならないのは自明である。それでは、セルロース合成酵素が膜タンパク質であるが故に果たしている機能とは、一体何なのだろうか？

3. 膜タンパク質酵素 — 二次元工場

3.1 酵素による人工合成

その考察のための戦略一つは、膜タンパク質以外でセルロースを合成させて、どのようなものができるか見るということである。幸運なことに、可溶性タンパク質である分解酵素や糖リン酸化酵素を使って、セルロースなどの多糖・オリゴ糖を合成する試みが、以前から報告されている^{14,15)}。すなわち、反応条件の改変や、糖供与体に工夫を加える（例えば、糖フッ化物やグルコースーリン酸などの活性化糖を利用する）ことで反応の向きを引っくり返し、分解酵素に糖転移反応を行わせるものである。このようなシステムを使って行われる重合反応は、セルロース合成酵素が行うものと反応機構的には全く同じタイプの反応である（糖転移反応）。そして、使用された分解酵素は可溶性の酵素であることから、膜タンパク質により行われるセルロース生合成の対照実験となる。

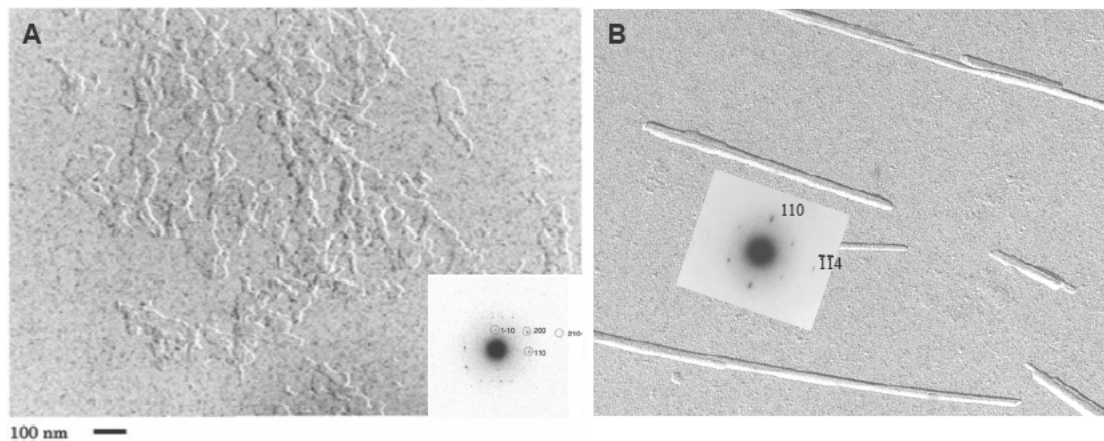


図4 人工・天然セルロースの電子顕微鏡像

- A：分解酵素の逆反応により合成したセルロース。反応産物を水洗後にシャドーイング法で観察。微小領域からの電子回折像（右下）から、平板に対して分子鎖軸が立った状態のセルロース II 結晶であることが分かる（文献 16 より引用・改変）。
- B：天然セルロースの繊維（海藻の一種、バロニアの細胞壁由来）。希酸による加水分解で解繊したものをシャドーイング法で観察（倍率はAと同じ）。微小部電子回折（挿入図）から、繊維軸に沿って分子鎖が充填された、セルロース I 結晶であることが分かる。

その結果は図 4 A で示すようなものとなった^{16,17)}。驚くべきことに、セルロースは非常に薄い平板状となってしまい、天然で見られるような繊維状の結晶（図 4 B）とは全く違う構造体が出現した。セルロースは、グルコースというエネルギー源を原料にして合成される。そしてそれを外へ堆積させるのだから、相当な出費を払ってセルロースが合成される訳である。そのセルロースが薄い板状では、わずかな曲げの力が加わるだけで簡単に割れてしまい、生物にとっては全く利益なしである。冒頭で鉄筋に例えたように、セルロースは繊維状の形態でなければ、本来の機能を果たせないのである。

実は、キチンや β 1 \rightarrow 3-グルカンについても、全く同様の実験結果が得られている^{18,19)}。これらの多糖は、セルロースと同様、いずれも微小な繊維として細胞壁など細胞外に堆積し、生体の力学的支持を担う多糖類（構造多糖）であり、その生合成は細胞膜上の膜タンパク質で行われる。そして上述と

同様の分解酵素の逆反応で合成させると、平板状の結晶が合成される。 β 1 \rightarrow 3-グルカンの場合は特に美しく、見事な六角形の結晶性の平板が出来上がる (図5 A)。これは、 β 1 \rightarrow 3-グルカンが六回対称性という高い対称性を持つ故に^{20, 21)}、その「癖」が目に見える形で表れたものである(「晶癖」と呼ばれる)。通常、このような美しい六角形の β 1 \rightarrow 3-グルカン結晶を作るには、熱と圧力をかけて分子を再配列させなければならない²²⁾。しかし、酵素人工合成系は常温常圧で同じことを成し遂げる。これは、合成直後の β 1 \rightarrow 3-グルカンの分子鎖が非常に柔軟なものであることを明示している。「鉄は熱いうちに打て」と同様、「多糖(高分子)は熱いうちに打て」ということであろう。

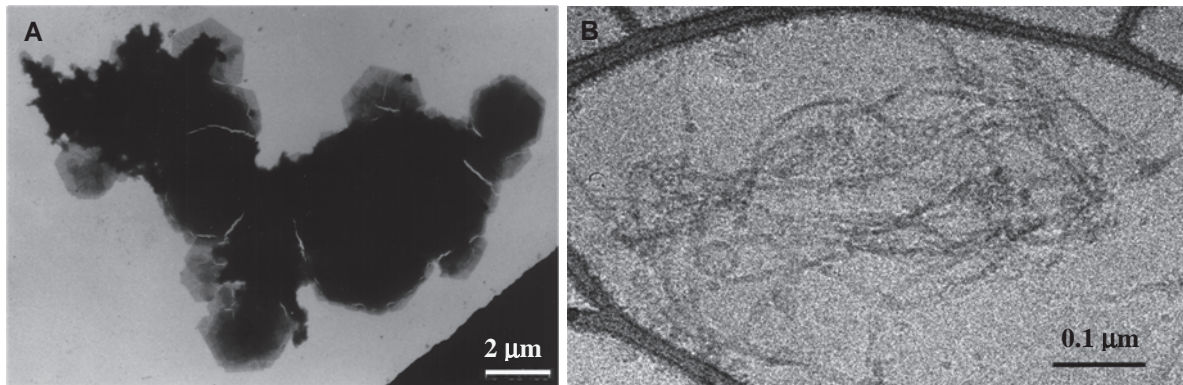


図5 酵素合成された β 1 \rightarrow 3-グルカンの電子顕微鏡像 (AとBで倍率が異なることに注意)
A: 人工合成された β 1 \rightarrow 3-グルカン(通常観察)。六角形のシートが何層も積み重なっている。
B: 植物(ブラックベリー)より単離した合成活性で作られた β 1 \rightarrow 3-グルカン(氷包埋法)

一方で、生物から酵素活性を抽出し、 β 1 \rightarrow 3-グルカンを合成させると、きれいな繊維が合成される(図5 B)。すなわち、「熱い」うちに繊維へと成型する機構が、生物の β 1 \rightarrow 3-グルカン合成酵素に存在することは確実である。これは、他の多糖の場合でも全く同様であろう。

3.2 膜タンパク質複合体

先述の通り、分解酵素と合成酵素による多糖合成反応は、反応機構的には全く同一のタイプである。よって、セルロースをはじめ、多糖の合成酵素が膜タンパク質であるのは、繊維を形成するためではなかろうかと考えられる。すなわち、可溶性の酵素は溶液中を三次元に自由に動き回り、自身の回転も許されるなど、運動の自由度が高い(図6 A)。しかも溶液中では、溶媒の分子が激しくランダムに運動しており(ブラウン運動)、それらが衝突することで、激しく酵素タンパク質は揺さぶられていると考えられる。そういう分子機械に高分子を作らせても、合成されたばかりの分子鎖を秩序正しく並べることは不可能と言っても過言ではなかろう。ところが、細胞膜に合成酵素を埋め込んでしまえば、面内での並進・回転の可能性は残るが動きは二次元に抑えられる(図6 B)。さらに、細胞骨格と呼ばれるタンパク質で、細胞膜の直下から合成酵素を裏打ちするなどして、触媒部位を互いに近接させて複数個集合させれば、面内の運動も原理的には抑えられる。事実、細胞骨格の一つである微小管が、セルロース合成へ関与することは、直接か間接かは議論の余地があるところだが、確かであろう^{23, 24)}。こうして、繊維紡糸可能なシステムが組み上げられることが予想される。

様々な知見を考慮に入れると、他の補助タンパク質の必要性が強く示唆されるため、生物がセルロースを紡糸する機構の全体像はまだ見えてはいない。しかし、セルロース(おそらくキチンや β 1 \rightarrow 3-グルカンも)を繊維として合成するためには、以上のような大掛かりな設えが必要であることは、疑いのないことだと思われる。セルロース合成酵素が、複数種のタンパク質の集積した膜タンパク質複合体であることは、以下のような形で示唆されている。

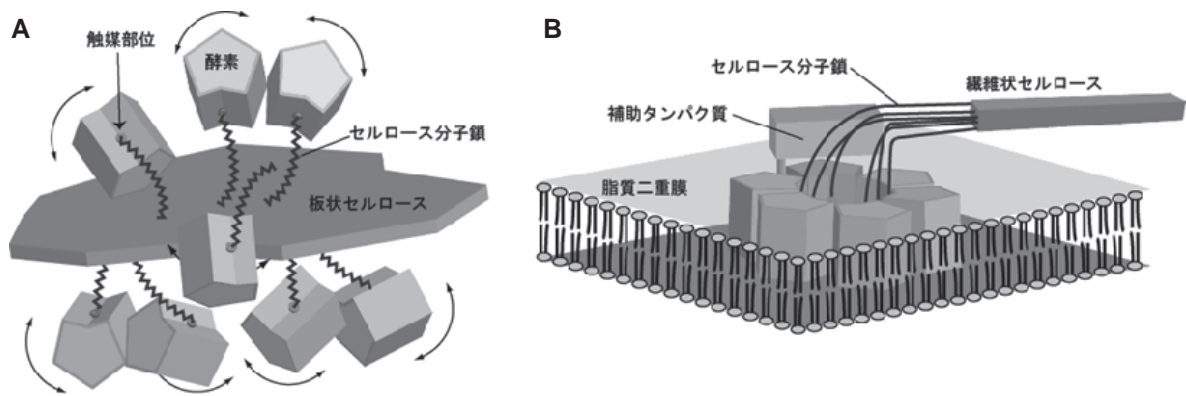


図6 膜タンパク質による多糖合成

A: 可溶性タンパク質単独によるセルロースの重合。酵素がお互いに独立して運動するために、合成された分子鎖はバラバラに溶液中に吐き出されていく。さらに、水分子のブラウン運動による衝突を受け、激しく揺動している。その結果、近傍の分子鎖と無秩序に会合するため、繊維にならない。

B: 膜タンパク質複合体によるセルロースの重合。細胞膜という二次元場に収まっているため、膜面内での並進・回転以外の自由度は存在しない。Aで見られるような酵素の高運動性は見られない。しかも規則正しく会合し、補助タンパク質とともに複合体を形成することで、かなり高度に制御された繊維形成が可能であろう。

- ① 凍結割断レプリカ法で粒子構造が観察されるということは、その膜タンパク質は巨大な構造体である可能性が高く、複合体が推測される^{5, 25, 26)} (図6 B)。
- ② バクテリアのセルロース合成酵素遺伝子は、複数のオープンリーディングフレームがクラスターを形成しており、セルロース合成酵素は、これら複数のタンパク質の複合体として働くことが示唆されている²⁷⁻²⁹⁾。
- ③ 植物の場合、様々な膜結合性のタンパク質の関与が変異体解析や生化学的解析から示唆されている³⁰⁾。中でもセルロース分解酵素がセルロース合成に関与しているというデータは特に興味深い³¹⁻³³⁾。セルロース合成能を持つ動物・ホヤでは、セルロース合成酵素遺伝子の一部に、セルラーゼと相同性の高い配列がコードされている³⁴⁻³⁶⁾。またバクテリアでも、セルラーゼ遺伝子や β -D-グルコシダーゼがその近傍に存在したり^{37, 38)}、セルラーゼ遺伝子が *cesA* とともにクラスターを形成したり²⁹⁾、また実際に合成に関与していることも示されている³⁹⁾。従って、セルロース分解酵素がセルロース合成に関わるのは普遍的なシステムである可能性が高い。先述のように、分解酵素が反応を逆に回して合成反応を触媒することは可能であるため、セルラーゼがセルロース生合成に直接に関わる仮説も提案されている^{13, 32, 40, 41)}。

セルロース合成酵素はただのグルコース連結機ではなく、膜という二次元にアンカーされた上で、いくつもの装置を備えた巨大分子複合体として存在し、これにより「重合同時結晶化」を可能にしている「二次元素子」と考えられる。しかしこの複合体の実体や、その詳細な分子機構については、断片的にしか分かっていない。

4. まとめ

セルロース生合成の場が細胞膜であるという説は、これらが細胞外に堆積するという事実からすでに推測されていたことであり、いくつかの実験的証明も存在する。しかし、可溶性である分解酵素を使って合成したセルロース結晶の構造は、生体で合成されるものとはかけ離れたものとなり、生体にとって全く役に立たないものになった。このことは、細胞膜という二次元場で合成することが、セルロースを繊維として形成するために必要であることを改めて実証したものである。そして、このシステムは生物の進化の過程で利点として働いたために、多くの植物がセルロースを合成する事態が実現されたのだと推測される。他の構造多糖（キチンや $(\beta 1 \rightarrow 3)$ -グルカン）についても、全く同じことが言えると推測される。

合成酵素が細胞膜という二次元場で働くことで、セルロースが繊維として紡糸されるという状況は、実は高分子における熔融・溶液紡糸技術と本質的には同じものであろう。すなわち、ポリエチレンやPETなど多くの汎用高分子で、融解状態、あるいは溶液状態の高分子を、紡糸ノズルという小さな穴から押し出して繊維に成型する技術が広く使用されている。セルロース合成酵素は重合反応を粛々と繰り返してセルロース分子を合成するのみならず、細胞膜にノズルを装備してセルロース繊維を紡糸しているのではなかろうか。ノズルの形状を変えて高分子繊維の断面形態を変えることで、同じ高分子でも全く異なる性質が現れることはよく知られており、メーカーが新たな製品開発の手段とするのもしばしばである。これに倣って、セルロース合成酵素の分子機構、特に紡糸機構にヒントを得て新たな紡糸技術を開発し、セルロースという古典的な材料に、これまでにない新しい物性を付与できれば、低環境負荷の新規材料開発につながるものと期待される。

5. 謝辞

本総説で紹介したデータの一部は、京大生体分子工学研究所の杉山淳司教授、スウェーデン王立科学研究所（KTH）の Vincent Bulone 教授と、両博士それぞれの共同研究の中で行った結果に基づいています。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Arioli, T., Peng, L., Betzner, A.S., Burn, J., Wittke, W., Herth, W., Camilleri, C., Hofte, H., Plazinski, J., Birch, R., Cork, A., Glover, J., Redmond, J., Williamson, R.E. Molecular analysis of cellulose biosynthesis in *Arabidopsis*, *Science* **279**, 717-720, 1998.
- 2) Desprez, T., Juraniec, M., Crowell, E.F., Jouy, H., Pochylova, Z., Parcy, F., Höfte, H., Gonneau, M., Vernhettes, S. Organization of cellulose synthase complexes involved in primary cell wall synthesis in *Arabidopsis thaliana*, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **104**, 15572-15577, 2007.
- 3) Marszalek, P.E., Pang, Y.-., Li, H., El Yazal, J., Oberhauser, A.F., Fernandez, J.M. Atomic levers control pyranose ring conformations, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **96**, 7894-7898, 1999.
- 4) Nishiyama, Y., Langan, P., Chanzy, H. Crystal structure and hydrogen-bonding system in cellulose I β from synchrotron X-ray and neutron fiber diffraction, *J.Am.Chem.Soc.* **124**, 9074-9082, 2002.

- 5) Brown Jr., R.M., Montezinos, D. Cellulose microfibrils: Visualization of biosynthetic and orienting complexes in association with the plasma membrane, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **73**, 143-147, 1976.
- 6) Kimura, S., Laosinchai, W., Itoh, T., Cui, X., Linder, C.R., Malcolm Brown Jr., R. Immunogold labeling of rosette terminal cellulose-synthesizing complexes in the vascular plant *Vigna angularis*, *Plant Cell* **11**, 2075-2085, 1999.
- 7) Kimura, S., Chen, H.P., Saxena, I.M., Brown R.M., J., Itoh, T. Localization of c-di-GMP-binding protein with the linear terminal complexes of *Acetobacter xylinum*, *J.Bacteriol.* **183**, 5668-5674, 2001.
- 8) Paredez, A.R., Somerville, C.R., Ehrhardt, D.W. Visualization of cellulose synthase demonstrates functional association with microtubules, *Science* **312**, 1491-1495, 2006.
- 9) Aloni, Y., Delmer, D.P., Benziman, M. Achievement of high rates of in vitro synthesis of 1,4- β -D-glucan: Activation by cooperative interaction of the *Acetobacter xylinum* enzyme system with GTP, polyethylene glycol, and a protein factor, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **79**, 6448-6452, 1982.
- 10) Kudlicka, K., Malcolm Brown Jr., R. Cellulose and callose biosynthesis in higher plants: I. Solubilization and separation of (1 \rightarrow 3)- and (1 \rightarrow 4)- β -glucan synthase activities from mung bean, *Plant Physiol.* **115**, 643-656, 1997.
- 11) Glaser, L. The enzymic synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*, *BBA - Biochimica et Biophysica Acta* **25**, 436, 1957.
- 12) Lai-Kee-Him, J., Chanzy, H., Müller, M., Putaux, J.-., Imai, T., Bulone, V. In vitro versus in vivo cellulose microfibrils from plant primary wall synthases: Structural differences, *J.Biol.Chem.* **277**, 36931-36939, 2002.
- 13) Delmer, D.P. Cellulose biosynthesis: Exciting times for a difficult field of study, *Annual Review of Plant Biology* **50**, 245-276, 1999.
- 14) Kobayashi, S., Kashiwa, K., Kawasaki, T., Shoda, S.-. Novel method for polysaccharide synthesis using an enzyme: The first in vitro synthesis of cellulose via a nonbiosynthetic path utilizing cellulase as catalyst, *J.Am.Chem.Soc.* **113**, 3079-3084, 1991.
- 15) Mackenzie, L.F., Wang, Q., Warren, R.A.J., Withers, S.G. Glycosynthases: Mutant glycosidases for oligosaccharide synthesis, *J.Am.Chem.Soc.* **120**, 5583-5584, 1998.
- 16) Kobayashi, S., Hobson, L.J., Sakamoto, J., Kimura, S., Sugiyama, J., Imai, T., Itoh, T. Formation and structure of artificial cellulose spherulites via enzymatic polymerization, *Biomacromolecules* **1**, 168-173, 2000.
- 17) Fort, S., Boyer, V., Greffe, L., Davies, G.J., Moroz, O., Christiansen, L., Schu lein, M., Cottaz, S., Driguez, H. Highly efficient synthesis of β (1 \rightarrow 4)-oligo- and -polysaccharides using a mutant cellulase, *J.Am.Chem.Soc.* **122**, 5429-5437, 2000.
- 18) Sakamoto, J., Sugiyama, J., Kimura, S., Imai, T., Itoh, T., Watanabe, T., Kobayashi, S. Artificial chitin spherulites composed of single crystalline ribbons of α -chitin via enzymatic polymerization, *Macromolecules* **33**, 4155-4160, 2000.

- 19) Hrmova, M., Imai, T., Rutten, S.J., Fairweather, J.K., Pelosi, L., Bulone, V., Driguez, H., Fincher, G.B. Mutated barley (1,3)-beta-D-glucan endohydrolases synthesize crystalline (1,3)-beta-D-glucans. *J.Biol.Chem.* **277**, 30102-30111, 2002.
- 20) Deslandes, Y., Marchessault, R.H., Sarko, A. Triple-helical structure of (1-3)-beta-D-glucan, *Macromolecules* **13**, 1466-1471, 1980.
- 21) Chuah, C.T., Sarko, A., Deslandes, Y., Marchessault, R.H. Triple-helical crystalline structure of curdlan and paramylon hydrates, *Macromolecules* **16**, 1375-1382, 1983.
- 22) Harada, T., Koreeda, A., Sato, S., Kasai, N. Electron microscopic study on the ultrastructure of curdlan gel: Assembly and dissociation of fibrils by heating, *J.Electron Microsc.* **28**, 147-153, 1979.
- 23) DeBolt, S., Gutierrez, R., Ehrhardt, D.W., Melo, C.V., Ross, L., Cutler, S.R., Somerville, C., Bonetta, D. Morlin, an inhibitor of cortical microtubule dynamics and cellulose synthase movement, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **104**, 5854-5859, 2007.
- 24) Paredez, A.R., Somerville, C.R., Ehrhardt, D.W. Visualization of cellulose synthase demonstrates functional association with microtubules, *Science* **312**, 1491-1495, 2006.
- 25) Zaar, K. Visualization of pores (export sites) correlated with cellulose production in the envelope of the gram-negative bacterium *Acetobacter xylinum*, *J.Cell Biol.* **80**, 773-777, 1979.
- 26) Giddings Jr., T.H., Brower, D.L., Staehelin, L.A. Visualization of particle complexes in the plasma membrane of *Micrasterias denticulata* associated with the formation of cellulose fibrils in primary and secondary cell walls, *J.Cell Biol.* **84**, 327-339, 1980.
- 27) Saxena, I.M., Kudlicka, K., Okuda, K., Brown Jr., R.M. Characterization of genes in the cellulose-synthesizing operon (acs operon) of *Acetobacter xylinum*: Implications for cellulose crystallization, *J.Bacteriol.* **176**, 5735-5752, 1994.
- 28) Wong, H.C., Fear, A.L., Calhoon, R.D., Eichinger, G.H., Mayer, R., Amikam, D., Benziman, M., Gelfand, D.H., Meade, J.H., Emerick, A.W., Bruner, R., Ben-Bassat, A., Tal, R. Genetic organization of the cellulose synthase operon in *Acetobacter xylinum*, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **87**, 8130-8134, 1990.
- 29) Matthyse, A.G., White, S., Lightfoot, R. Genes required for cellulose synthesis in *Agrobacterium tumefaciens*, *J.Bacteriol.* **177**, 1069-1075, 1995.
- 30) Schindelman, G., Morikami, A., Jung, J., Baskin, T.I., Carpita, N.C., Derbyshire, P., McCann, M.C., Benfey, P.N. COBRA encodes a putative GPI-anchored protein, which is polarly localized and necessary for oriented cell expansion in arabidopsis, *Genes and Development* **15**, 1115-1127, 2001.
- 31) Lane, D.R., Wiedemeier, A., Peng, L., Hofte, H., Vernhettes, S., Desprez, T., Hocart, C.H., Birch, R.J., Baskin, T.I., Burn, J.E., Arioli, T., Betzner, A.S., Williamson, R.E. Temperature-sensitive alleles of rsw2 link the KORRIGAN endo-1,4-β-glucanase to cellulose synthesis and cytokinesis in Arabidopsis, *Plant Physiol.* **126**, 278-288, 2001.

- 32) Sato, S., Kato, T., Kakegawa, K., Ishii, T., Liu, Y.-., Awano, T., Takabe, K., Nishiyama, Y., Kuga, S., Sato, S., Nakamura, Y., Tabata, S., Shibata, D. Role of the putative membrane-bound endo-1,4- β -glucanase KORRIGAN in cell elongation and cellulose synthesis in *Arabidopsis thaliana*, *Plant and Cell Physiology* **42**, 251-263, 2001.
- 33) Nicol, F., His, I., Jauneau, A., Vernhettes, S., Canut, H., Hofte, H. A plasma membrane-bound putative endo-1,4- β -D-glucanase is required for normal wall assembly and cell elongation in *Arabidopsis*, *EMBO J.* **17**, 5563-5576, 1998.
- 34) Matthyse, A.G., Deschet, K., Williams, M., Marry, M., White, A.R., Smith, W.C. A functional cellulose synthase from ascidian epidermis, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **101**, 986-991, 2004.
- 35) Nakashima, K., Yamada, L., Satou, Y., Azuma, J.-., Satoh, N. The evolutionary origin of animal cellulose synthase, *Dev.Genes Evol.* **214**, 81-88, 2004.
- 36) Sasakura, Y., Nakashima, K., Awazu, S., Matsuoka, T., Nakayama, A., Azuma, J.-., Satoh, N. Transposon-mediated insertional mutagenesis revealed the functions of animal cellulose synthase in the ascidian *Ciona intestinalis*, *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **102**, 15134-15139, 2005.
- 37) Standal, R., Iversen, T.-., Coucheron, D.H., Fjaervik, E., Blatny, J.M., Valla, S. A new gene required for cellulose production and a gene encoding cellulolytic activity in *Acetobacter xylinum* are colocalized with the bcs operon, *J.Bacteriol.* **176**, 665-672, 1994.
- 38) Tonouchi, N., Tahara, N., Kojima, Y., Nakai, T., Sakai, F., Hayashi, T., Tsuchida, T., Yoshinaga, F. A Beta-Glucosidase Gene Downstream of the Cellulose Synthase Operon in Cellulose-producing *Acetobacter*, *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* **61**, 1789-1790, 1997.
- 39) Kawano, S., Tajima, K., Kono, H., Erata, T., Munekata, M., Takai, M. Effects of endogenous endo- β -1,4-glucanase on cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum* ATCC23769, *Journal of Bioscience and Bioengineering* **94**, 275-281, 2002.
- 40) Peng, L., Kawagoe, Y., Hogan, P., Delmer, D. Sitosterol- β -glucoside as primer for cellulose synthesis in plants, *Science* **295**, 147-150, 2002.
- 41) Mølhøj, M., Ulvskov, P., Dal Degan, F. Characterization of a functional soluble form of a *Brassica napus* membrane-anchored endo-1,4- β -glucanase heterologously expressed in *Pichia pastoris*, *Plant Physiol.* **127**, 674-684, 2001.

木材の長期使用戦略

—地球温暖化防止と住まいの長寿命化—*

今村 祐嗣**

1. はじめに

世界最古の木造建築物である法隆寺の五重塔、それを 1400 年以上にわたって支えてきたのは、木材の驚異的な耐久性である。数百年前以上にわたり神社仏閣に使用されてきた木材を、新しく伐採された木材と比較しても、強度低下はほとんどないことは良く知られていることである¹⁾。各種の建築材料のうち、石材やその他の無機材料を除いて、人類の歴史のなかで千年以上の耐久性を誇るのは木材が唯一であろう (図 1)。

しかし、木材の主要な用途である木造住宅を例にとってみても、年数がかなりたってもそこに使われている木材にはほとんど劣化がみられないことがある反面、わずか数年で家を建て替えねばならなくなるほど劣化が進行することもある。木材に劣化を引き起こす主要なものは腐朽やシロアリといった生物劣化である。木材はセルロースやリグニンといった樹木がつくった生分解性の高分子化合物からできていることから、こういった生き物による劣化作用を受ける。しかし、その発生・進行には温度と水分と酸素が必要な因子であり、このうちどれが欠けても劣化は進まない。このうち、温度条件は地域や気候、あるいは使用環境によって影響を受けるとはいえ、通常 15℃以上になれば腐朽菌やシロアリの活動が活発になるため、人為的にこれをコントロールして劣化を防止するのは容易ではない。酸素条件についても土中深く使用されてきた杭や遺跡から出土する木材にみられるように、それが欠乏したところでは生物劣化は進行しないが、通常の使用状態では劣化生物が必要とする酸素は十分備わっている。一方、水分条件は住宅を例にとっても、意匠や設計、あるいは住まい方によって支配されることが多いため、工夫によって劣化の危険性を低減させることも可能である。

建立から永い歴史をもっている日本の寺社建築では、耐久性のある樹種の使用とともに、水の影響を考えた工夫が随所に取り入れられている。例えば清水寺の舞台ではデッキに勾配をつけ、高欄の接合も水が溜まるのを防ぐ構造に、床下の貫の木口には木製の覆い板が取り付けられている。また、古い木造の文化財建造物では、大修理、中修理、小修理と繰り返されてきた十分な保守管理



図 1 : 世界最古の木造建築物—法隆寺の五重塔

* 2008 年 10 月 1 日作成

** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所居住圏環境共生分野.
E-mail: imamura@rish.kyoto-u.ac.jp

によって耐久性が確保されてきた。しかし、最近の住宅では住みやすさをより重視することから、水まわり箇所の分散化や高气密性によって、耐久性が二次的に位置付けられている傾向にある。また、大壁工法の増加によって劣化の早期発見も困難になってきている。使用される樹種の多様化や各種の木質材料の出現、釘や金物接合の多用、デッキや木橋など日射や雨水のかかる屋外使用の拡大など、むしろ劣化を促進する要因が増加しているのが実状である。

2. 劣化生物の概要

一般的に木材は、条件にかなった水分と温度が与えられると、変色菌やカビ、腐朽菌あるいは細菌類が木材の表面あるいは内部に繁殖し、汚染または劣化の原因となる。このうち、変色菌やカビは木材にわずかに含まれるデンプンやタンパク質のみを利用して生長するため、木材の強度を低下させることはほとんどない。木材の微生物劣化で最大の被害を引き起こすのは担糸菌類による腐朽であり、セルロースやリグニンという木材実質を分解する。木材を屋外で使用すると、腐朽菌の孢子あるいは菌糸が多く存在し、水分と酸素が十分供給される地際部がもっとも腐りやすい。住宅部材のように木材と土との接触がない場合では、すでに腐朽した木材から菌糸が伸びてきて腐朽が始まったり、また、空中を飛散していた孢子が木材表面に付着し発芽して菌糸となり、内部へ伸長して腐朽が始まる。

木材腐朽菌は褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大別される。このうち褐色腐朽菌は建築物等の主要な劣化微生物であり、針葉樹材を特に劣化させ、セルロースを選択的に分解することから、質量減少が小さ

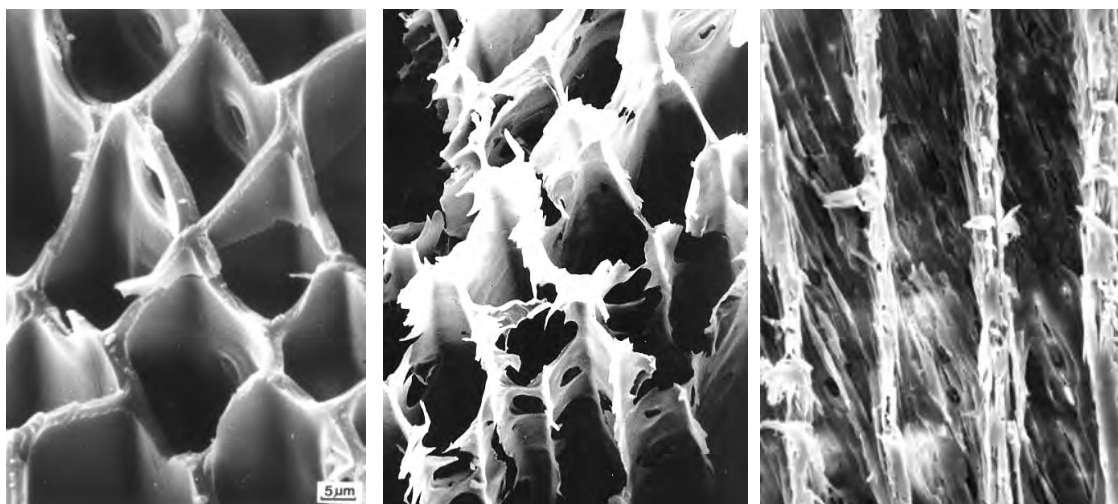


図2：左から、褐色腐朽菌、白色腐朽菌、軟腐朽菌によって劣化した木材（スギ）

い段階であっても大きな強度低下を引き起こす²⁾。白色腐朽菌はセルロースとリグニンを同時に分解するため強度低下に与える影響は褐色腐朽菌よりも小さいが、屋外では一般的に認められる菌類である（図2）。軟腐朽菌は水分状態がかなり高い状態であっても活動し、表面から軟化するなど特有の劣化現象を示す。土中に埋まっていた木質文化財によく見られる腐朽形態である。

木材に劣化を起こすもう一つの主要な生物はシロアリである³⁾。シロアリは通常、温暖で高湿度の環境を好むが、腐朽の進行と関係なく単独で木材を加害する場合と、腐朽と並行して食害を生じる場合がみられる。日本には20種くらいのシロアリの生息が報告されているが、経済的に重要な種類はイエシロアリとヤマトシロアリである。イエシロアリは地中に巣を構築し、土の中に蟻道と呼ばれるトンネルをつくって移動し、ひとつのコロニーの個体数は100万頭を越えるといわれている。世界のシロアリの仲間でも住宅などに大きな被害を及ぼしている暴れ者で、その分布は南西諸島から沖縄、九州、四国、瀬戸内地域から近畿南部、東海、関東の太平洋岸となっているが、いまや太平洋を渡り

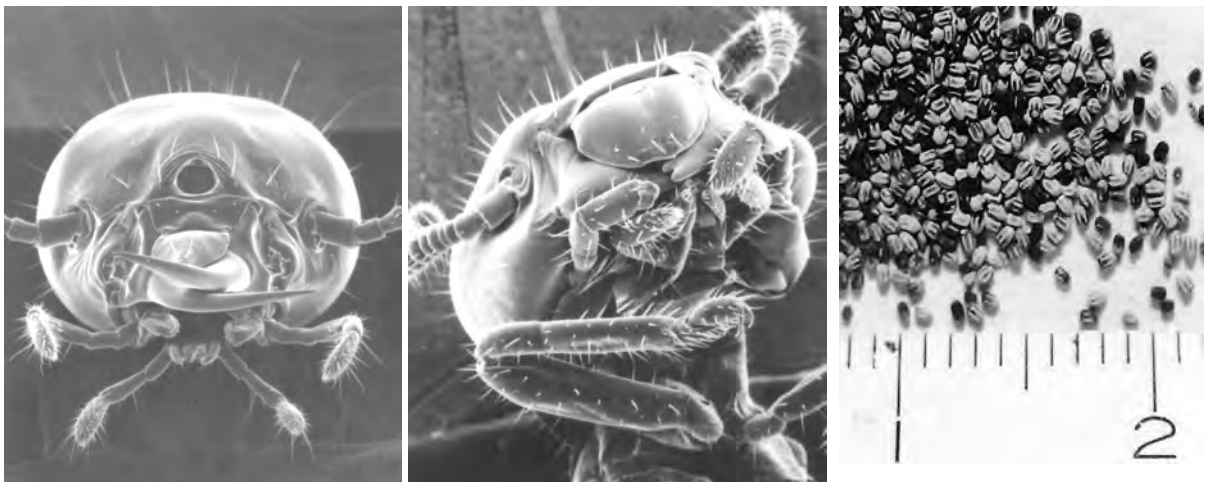


図3：左から、イエシロアリの兵蟻、職蟻とアメリカカンザイシロアリの乾いた糞

アメリカでも猛威をふるっている（図3）。

ヤマトシロアリは木材の中に巣をつくり近くのを食害するが、個体数はイエシロアリより少なく1コロニーあたり数千から1万頭くらいである。このシロアリは、世界でもっとも北まで分布しているグループであるが、わが国では本州以外にも北海道の旭川市でその生息が確認されたのを皮切りに、最近ではさらに北上し名寄市においても発見されている⁴⁾。イエシロアリと異なり水分に対する依存度が高く、通常は腐朽と並存することが多い。

イエシロアリとヤマトシロアリは地下生息性シロアリと称されるグループに属するもので、いずれも土の中をおもな生息場所としている。場合によっては、枯死木や住宅の壁の中に巣をつくることもあるが、土中を移動の経路にし、特に水分供給を地下に求めている。しかし、最近わが国で、変わり者のシロアリによる被害が増えてきた。このシロアリは木材中でのみ生息し、生存に必要な水分も気乾状態にある木材から求めている乾材（カンザイ）シロアリである⁵⁾。

この乾材シロアリは、もともとわが国には生息していなかった種類で、「アメリカカンザイシロアリ」と名付けられているアメリカ原産のものである。乾材シロアリの一番大きな特徴は、まず乾燥材を食害し、そこに含まれている水分のみで生活し、外に水分補給を求める必要がまったくないということである。このシロアリによる被害の発見は、柱や梁、あるいは家具などから外に向かって大量に排出されている、大変細かい粒状の木粉がきっかけになることが多い。これはカンザイシロアリの糞で、長さ0.5mm前後のきわめて形が整った俵状の形をしている。色は白～茶～褐色であるが、食材によって異なるようだ。からからに乾いた糞であるが、このシロアリが乾燥した木材を餌とし、そこに含まれる水分をしぼり取っていることを考えれば、しごく当然のことであろう（図3）⁶⁾。



図4：イエシロアリの羽蟻の頭部（職蟻、兵蟻では眼は退化しているが、羽蟻では複眼をもち走光性を示す。）

3. 木材保存処理の動向

3.1 木材の防腐・防蟻処理

元々腐れやシロアリに対する抵抗性のある樹種は蓄積量が少ないことが多く、造林樹種ではむしろ耐朽・耐蟻性の低いものが多い。それらに耐久性を付与するために保存薬剤の注入が行われてきた。

従来、銅・クロム・ヒ素を成分とする CCA が、水溶性であることから使いやすく、木材に注入されると固着し高い防腐・防蟻性を与えることから、世界的に広く使用されてきた。特にわが国では、1970 年代以降の住宅土台の主要な処理薬剤であった。しかし、工場における排水の課題以外に、焼却廃棄時において有害物質が発生すること大きな社会的問題となり、1995 年以降代替薬剤への移行が急速に進み、CCA 処理木材はわが国においてはほとんど生産されなくなった。また、かつては鉄道枕木に主に用いられてきたクレオソートにおいても悪臭、皮膚刺激、発癌性成分の存在が問題となり、現在では新しいタイプのクレオソートに代わってきている。

薬剤を用いる保存処理においては、劣化を防ぐことによる利点と健康や環境への危険性のバランスシートにのっていることはいうまでもない。とくに最近、保存処理木材が、デッキや遊具あるいはウォーターフロントの部材など、屋外の景観材料として用いられる場合が増加してきている。これらの使用条件においては、日射の暴露と雨水によって部材表面から木材成分の分解と割れが発生するだけでなく（図 5）、長期間にわたって土壌や雨水に接することが多いため、周囲の環境を汚染する危険性が高い。また、人体が直接処理木材に接触する頻度も高い。これらの点から、環境や安全性への配慮がとくに求められ、“環境にやさしい”保存処理が従来にも増して模索されてきている。



図 5：日射に曝された木材表面（細胞間層において顕著な成分分解が生じている。）

最近、ISO の木材保存分科会では、保存処理木材の用途、すなわち劣化が発生する度合によって使用環境を区分し、それぞれについて用いる材料や処理レベルを細かに規定し、性能評価の方法も分けていこうという方向が検討されている。すなわち、接地か非接地か、暴露状態か外界から保護されているかに分類する。この劣化の等級区分は、使用環境からの要求度に対し信頼性の高い材料を提供するという目的以外に、適材を適所に用いることによって環境に対しても負荷を少なくするという効果も有している。住宅部材の適切な保存処理についても、今後この観点からの取り組みが進んでいくものと予測される。

3.2 木材の化学修飾

木材の細胞壁の非晶部分には活性な水酸基が数多く存在しており、外からの水分がここに吸着して木材の寸法変化を引き起こす。もしこの水酸基をほかの安定な官能基で置き換えると、水分子がくっつく余地が無くなって吸水や吸湿による寸法変化が抑えられ、また、腐朽菌の分泌する酵素の攻撃に対しても、その作用を受けない分子構造になる。したがって、性能の発現は毒性に基づく殺菌効果によるのではなく、木材そのものの分子構造が合目的に改質されたことによる⁷⁾エラー! 参照元が見つかりません。

アセチル化処理木材はどの腐朽菌に対してもほぼアセチル化率が 20%を越えると、劣化による質量減少が認められなくなる。しかし、シロアリに対する抵抗性は加害するシロアリの種類によって異なり、ヤマトシロアリはほとんどこれを食害しないが、イエシロアリは無処理木材に比べると少ないものの、これを食害する。しかし、アセチル化木材だけを食餌とした場合は、イエシロアリといえども日を経るにしたがい死亡する。特に興味深いのは、スターベーション（食餌を与えない）の場合と同

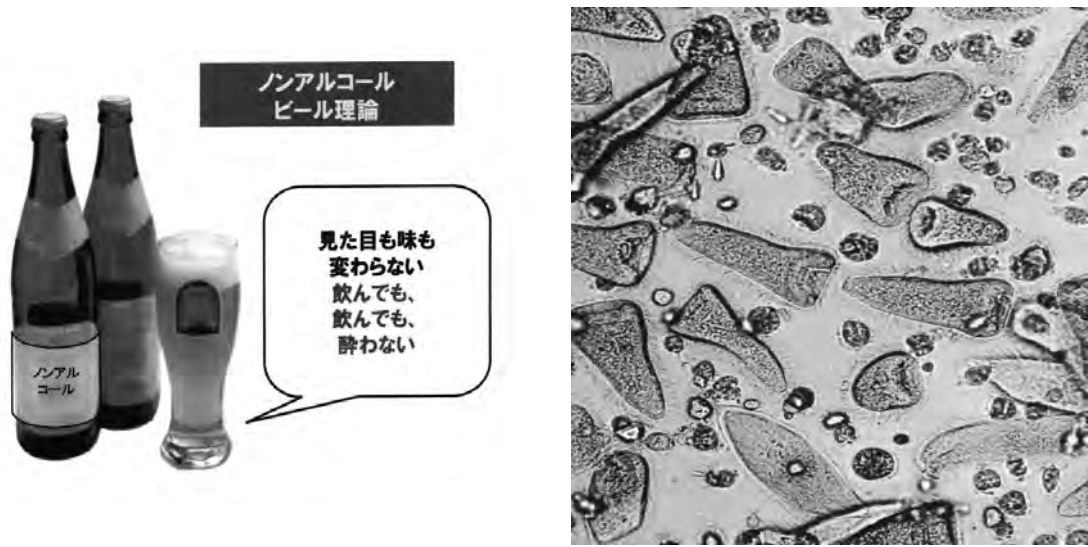


図6：化学修飾木材はノンアルコール・ビール（ビールみたいだけど、飲んでも、飲んでも酔わない）、右はシロアリ腸内の原生動物（撮影：吉村 剛）

様な生存個体の減少傾向を示すことである。

イエシロアリの腸内には3種類の原生動物が共生しており、セルロースの分解にはこれらの原生動物が関与しているといわれている。しかし、スターベーションの場合もアセチル化木材を食害した場合も、腸内に原生動物が全く認められない状態になった。シロアリは当初アセチル化木材を食餌として錯覚して食害するが、原生動物がこれを分解代謝できないため、原生動物の消失→食物補給の遮断→餓死へと至るのであろう（図6）。

一方、熱処理木材とはその言葉の意味するとおり、温度や雰囲気など処理条件は色々あるにしても、要するに加熱処理した木材のことである。木材を100～200度、場合によってはそれ以上の温度で処理した製品で、応力や狂いが除去されていることや、寸法安定性や耐久性、あるいは耐候性が向上していることがセールスポイントとなっている。

ヨーロッパにおける熱処理木材の動向については以前から知られており、また、わが国においても独自の手法や目的をもって取り組まれ、材の着色手段として、あるいは木材の圧縮処理の固定法として応用されてきた経緯もある。しかし、熱処理木材の耐久性、すなわち耐腐朽性や耐シロアリ性など生物劣化に対しては、筆者を含めわが国の研究者はかなり懐疑的であった。というのは、熱による木材成分の分解によって強度低下が引き起こされるのはもちろん、心材抽出成分やヘミセルロースの変性・分解によってむしろ抵抗性が低下することを懸念したことによっている。一方、加熱処理で木材成分中の遊離の水酸基が架橋することにもとづいて吸着される水分量が低下し、それによる性能向上は期待されてはいた。

しかし、処理工程における木材中の水分の有無や周囲の条件、あるいは加熱温度によって得られる物性は大きく異なるものの、防腐性能については200℃以上ではかなり向上するという結果が得られている。また、シロアリ、特に攻撃力の激しいイエシロアリに対しては食害を抑制することは困難であるにしても、分解代謝系に影響を与えているようで、このあたりの挙動については、まさにアセチル化処理のような化学修飾木材に共通する点が多々みられる。

熱処理木材も化学修飾木材と同様に、殺菌ではなく木材自身が腐りにくい状態で、しかも寸法や材色の安定性が向上している。強度はやや低下しているが、使用には十分耐えることができる。そういった処理技術である。熱処理木材が目指しているのは弱点が適度に改良され、「用途に適合する程度に」向上した材料ではないだろうか。

3.3 シロアリ被害の防除

木造住宅のシロアリ対策、いわゆる防蟻処理については、ヤマトシロアリとイエシロアリというわが国に生息する主要なシロアリが地下生息性の種類であるため、床下の土壌表面に薬剤を散布処理することで住宅内部への侵入を防止する方法がとられてきた。すなわち床下土壌の表面に薬剤のバリアー層あるいは接触層をつくり、地下の蟻道から布基礎や束を這い上がろうとするシロアリを防ごうとするものである(図7)。ケミカル(化学)バリアーである。防蟻薬剤としては、かつては有機塩素系薬剤のクロルデンが、その後は有機リン系化合物使用されていたが、それぞれ高い残留性や住宅内でのVOCなどの理由で禁止されあるいは使用量が減り、最近ではピレスロイド系、カーバメイト系、クロロニコチル系やフェニールピラゾール系薬剤などに移行してきた。また薬剤の形状もマイクロカプセルで包み込んだり、粒剤の形状にしたりして室内への揮散性を抑止したり作業面の安全性を高める様々の工夫が行われている。

最近に至り、薬剤の使用量を減らしたり(レスケミカル)、薬剤そのものに依存しない防除法(ケミカルフリー)を求める消費者の声も高まっている。土壌への薬剤散布のかわりに、遅効性の薬剤を餌と一緒に摂食させて巣内に持ち帰らせ、シロアリの習性を利用して薬剤効果を健全個体へ伝播させてコロニー全体をやっつけるベイト法や、薬剤を含浸させたプラスチックシートを床下に敷設したり、薬剤を含んだ塗料を基礎部分に塗布することによってシロアリの侵入や這い上がりを防ぐ方法などで、これらは薬剤使用量を減らせるということでレスケミカルな方法といえる。さらに、薬剤を使用しないケミカルフリーの物理的防除法が話題に上がっている。もちろん、床下環境を積極的に改善することを目的に、基礎と土台に間に隙間をつくったり、さらに調湿剤を床下に敷設したり、あるいは換気扇などと併用することによって床下の湿度を下げ、間接的にシロアリの被害を防ぐ手段も薬剤だけに依存しないパッシブな防蟻法も実施されている。

ところで、シロアリが通過できないメッシュサイズの金属製の網を布基礎と土間コンクリートの接合部や配管まわりなどに配置する方法や、シロアリが貫通できない一定の粒度(粒径が効力に影響する重要な因子で、重なった際の隙間がシロアリの通過を防ぐほど小さく、かつそれぞれが口に挟んで運べないほどの大きさ—2mm 前後)の砂を床下土壌に敷き詰める方法がハワイやオーストラリアで実用化され、わが国でも試みられている。こうなると、まさにフィジカル(物理)バリアーである(図8)。

もちろん、金属板や防蟻性のある木製板を土台や束まわりに一定の角度で取り付ける伝統的な蟻返しや、柱の根本の周囲に溝をほり水や油を溜めておく方法も古典的フィジカルバリアーということができ、歴史的にシロアリ被害に悩まされてきた沖縄や南九州などでは古くから様々な工夫が取り入れたられてきた。近頃でも束に取り付ける金属製の防蟻板や、立ち上がり配管の周囲をプラスチック板で囲む新た



図7：住宅床下の基礎表面につくられたシロアリの蟻道(中央部)



図8：ガラスビーズの貫通試験(シロアリは下部の土壌中で蟻道をつくって活動しているが、上部のガラスビーズには侵入できない) 提供：築瀬佳之

な蟻返しも提案されている。また最近の木造住宅にはコンクリートのべた基礎の普及が広がっているが、適切な配筋と不同沈下を防ぐ土固めがしてあればこれも物理的にシロアリの侵入を防ぐ有力な手段である。

しかし、蟻返しや防蟻シートにおいては土台や基礎周りへの取り付け部分に留意したり、床下コンクリートも長期にわたり割れ目が生じないように注意する必要がある。隙間が生じるとむしろシロアリの侵入を誘い込むことになりかねない。まだ十分に使用実績の乏しいフィジカルバリアーでシロアリの被害から住宅を完全に守るには、ある程度のリスクを仮定した上で診断とメンテナンスを組み合わせるなりして、施工とチェックとを同時にシステム化しておくことが不可欠である。

4. 住まいの劣化診断

さて、住まいの劣化をチェックするポイントは、腐朽菌やシロアリの侵入の生理・生態をよく理解し、未然の防止と早期発見につとめることにある。また、住まいのどこが劣化しやすいかを考え、そこに注意を注ぐ必要がある。特に、腐れについては、土台、柱脚、筋交いなどの下部の含水率の上昇、窓枠やモルタル内部への雨仕舞いの不良、雨水の通路の不具合、給排水管やサッシなど金属に接する部位での結露などが留意すべき箇所である。また、釘や接合金物に起因する鉄汚染や藻類や草などの発生も、木質部材の水分状態が高くなっていることの指標として考えられる。

しかし、住宅構造の密閉化や大壁方式の普及により、住宅の劣化診断はより困難なものになってきている。腐朽や虫害など生物的な劣化では、あらかじめその進行を予測することは容易なことではない。また、部材の表面から劣化が進むとは限らず、むしろ腐朽やシロアリの被害も内部で生じることが多く、その検出を一層困難にしている。

住宅の劣化あるいは老朽度の診断法としては、現状においては目視、打音診断が主なものであるが、経験を要したり、診断が主観的にならざるを得ない。正確に劣化診断を行うには適切な治具を利用する必要がある。しかし、pHの変化をみる化学的な識別法、あるいは木材内部への物理的なボーリング方法（ピロデインやレジストメーター）、音響伝播を利用する手法等々が試みられているが、安定した判断を下せるまでには至っていない⁸⁾。

一方、シロアリが木材を加害する場合、表面から順次食害することはほとんどなく、部材内部に穿孔して、いわゆる蟻道を作りながら食害領域を拡大する。そのため、被害を早期の段階で検出するのはきわめて困難とされてきた。一方で、シロアリ防除は今後、土壌や木部の駆除的な薬剤処理ですませるのではなく、総合的な住宅の保守管理システムへと移行すると考えられる状況にある。この点か

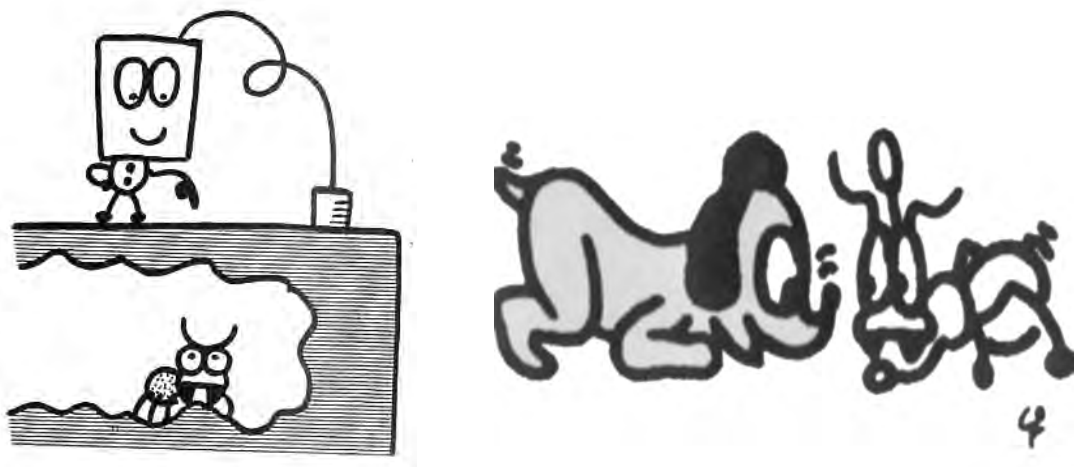


図9：左：シロアリの食害で発生するAE波の検出、右：シロアリを“匂い”で検出（左右の図とも築瀬佳之作画）

らも加害探知法の確立の必要性はますます増大するといえる。

ところで、シロアリは口器に相当する大腮を噛み合わせて、木材を小片として体内に取り込む。これはまさしく木材の微小破壊そのものではなからうか。そうすれば必ず木材からエネルギーが解放され、弾性波が生じてAEとして検出されるに違いない(図9)。もし食害活動に対応してAEが発生しそれを測定できれば、シロアリ被害を非破壊的に検出する有効な手段になろう。これがAEをシロアリの食害活動を検出する手法として利用する理由である。またこの手法は、外力を加えてAEを発生させるものではなく、材料中に生息する昆虫が引き起こす微小破壊に基づくAEを捕捉するという意味で、まさしく生物学的な現象を利用するというユニークな手法といえる⁸⁾。

一方、発見が困難な地下生菌類であるトリュフを探すのには牝のブタが活躍するが、これはよく似た事例で犬が地中に巣をつくり生活しているシロアリを見つけるという。われわれはこのビーグル犬にならい、匂いによるシロアリ探査を試みている。そこで、シロアリに由来する代謝ガスに注目し、実際に実験を行った結果、シロアリが活動することによって水素、二酸化炭素、メタンの濃度が上昇することを明らかになった。住宅の床下などの構造上主要で、かつ腐れやシロアリ被害などが発生しやすい箇所に『マルチにおい検出センサ』を取り付け、そこから発信する劣化情報を集中管理して、きわめて早期に、かつ信頼度の高い劣化診断を判定するシステムを構築することを頭に描いている。

5. おわりに

われわれ日本人は本当に自分の住まいを大切にしているのであろうか。中古住宅の市場が確立している米国の事情と単純に比べることはできないが、新築後は一方的に下落して行く住宅価値、物理的耐用年数のはるか以前に取り壊される住宅、最近はほとんど意識の外に置かれた劣化チェックや保守、など考えさせられることは多い。

優良な社会ストックとして住宅の耐用年数を延ばすことは、炭素固定の点から地球の温暖化防止につながる。また、住宅の耐用年数を長くすることは解体時期を延ばすことであり、すなわち建築物からの廃棄物を減少させ、炭素の放出をできるかぎり抑制することでもある。

しかし、住まいの長い年月の中で、劣化の発生と住み手の求める機能性に対応した変更は避けることができない。そのためには、当初の十分な耐久設計はもちろんであるが、適切な増改築施工にあわせた維持管理と、補修を想定した設計行為とその実行が重要な課題である。耐久性能の付与と適切なメンテナンスによって、木造住宅や木造建築物の良さが耐久性の面からも新しい視点で見直されるように思われる。

参考文献

- 1) 西岡常一、小原二郎、「法隆寺を支えた木」、日本放送出版協会、143pp., 1978.
- 2) 高橋旨象、「きのこと木材」、築地書館、64pp., 1989.
- 3) 今村祐嗣、角田邦夫、吉村 剛、「住まいとシロアリ」、海青社、174pp, 2000.
- 4) 今村祐嗣、しろあり軍団北上中、「木のびっくり話100」、日本木材学会編、講談社、132pp., 2005.
- 5) Indrayani, Y., T. Yoshimura, Y. Fujii, Y. Yanase, Y. Okahisa and Y. Imamura, Survey on the infestation of houses by *Incisstermes minor* (Hagen) in Kansai and Hokuriku areas, *Jpn. J. Environ. Entomol Zool.*, **15**, 261-268(2004).
- 6) 宮田光男、「シロアリ驚異の世界(第4巻)」, 東京農大出版会、32pp., 2005.
- 7) 今村祐嗣、ノンコンベンショナルな木材の保存処理、木材工業技術短信、**24**, 1-12, 2006
- 8) 今村祐嗣、木材および木質構造物の劣化診断、環境管理技術、**19**, 177-186, 2001

レーザービームを振りまわせ！！

—大気ライダーのフィールド観測—

中村 卓司**

1. はじめに

ライダーは、レーザー光を上空に送信し大気からの散乱信号を望遠鏡で受信して散乱体である大気の物理情報を得るアクティブ・リモートセンシングです。散乱体は大気分子やエアロゾル、雲粒子などで、ミー散乱、レイリー散乱、ラマン散乱などが受信されます。往復のレーザー光伝搬中の大気微量成分による吸収量を計測して大気微量成分の密度を計測する差分吸収ライダー(DIAL:Difference Absorption Lidar)もあります。京都大学・生存圏研究所(旧:超高層電波研究センター、2000年より旧:宙空電波科学研究センター)は、1984年より滋賀県甲賀市信楽町(元:滋賀県甲賀郡信楽町)の信楽MU観測所で、全国共同利用施設MUライダー(中層・超高層大気観測用大型ライダー)による高度2kmから500-700kmまでの大気の主に運動の観測を行なってきました。2000年には新たに大型のレイリー・ラマン・ライダーを導入して高度90kmまでの温度観測と高度10kmまでの対流圏の水蒸気量の観測を行なってきました。本講演では、同ライダーに導入した回転ラマン散乱による温度プロファイル計測と、その後開発した小型可搬の水蒸気ラマンライダーについて述べます。これらは、高層気象観測で観測される気象力学的物理量、温度、風速および水蒸気量のうちに、温度と水蒸気の観測を行なう装置です。

2. 大気からの散乱信号

図1に532nmのレーザーを送信したときの大気からの散乱信号を示します。ここで、水蒸気混合比は1%としています。送信波と同一波長の弾性散乱すなわち、レイリー散乱とミー散乱の信号に対し、 10^{-3} 以下の強度のラマン散乱信号が種々の波長で見られます。これは、大気分子からの散乱で散乱前後で振動準位、および回転準位が異なる振動-回転ラマン散乱によるものです。532nmの弾性散乱の周辺約10nmには、回転準位だけがことなる純回転ラマン散乱信号が見られます。振動-回転ラマン散乱は、分子により振動準位が大きくことなることから、波長毎に異なる大気組成からの散乱を受信することができます。たとえば、窒素分子(N₂)からは607nm、酸素分子(O₂)からは580nm、水蒸気からは660nmの散乱が得られます。純回転ラマン散乱信号の拡がり温度依存性を示すため、散乱強度スペクトル分布を計測することで大気温度の計測が可能です。また、振動ラマン散乱を受信することで、たとえば、水蒸気ラマン散乱信号と窒素ラマン散乱信号の比を取ることによって、窒素と水蒸気の組成比から、大気中の水蒸気混合比、すなわち湿度がわかります。ただし、純回転ラマン散乱は、近接波長にある弾性散乱光の抑圧を確保することが難しく注意が必要であり、また振動ラマン散乱による微量成分の計測は、たとえば水蒸気であれば弾性散乱信号と波長は離れているものの、信号強度比が 10^{-6} ~ 10^{-9} と非常に弱いため、弾性散乱信号の迷光やブロッキングに注意が必要です。

* 2008年10月1日作成

** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所 大気圏精測診断分野
現所属: 国立極地研究所 E-mail: nakamura.takuji@nipr.ac.jp

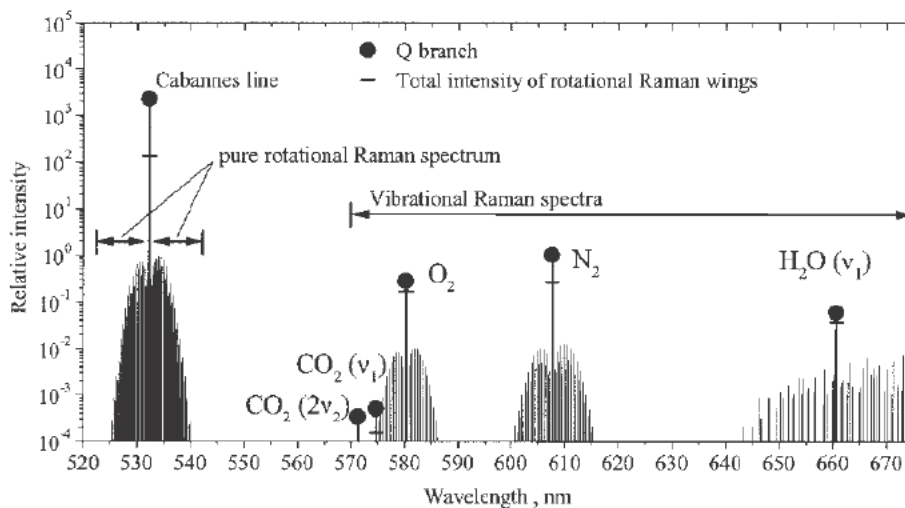


図1 532nmのレーザー光に対する大気(温度300K)の散乱信号のスペクトル。振動回転スペクトルの中央のQブランチの下に横線はQブランチ以外の成分の総和。(Behrendt et al., 2002)。

信楽MU観測所の大型レイリー・ラマンライダーの構成図を図2に示します。レーザーは、QスイッチパルスNd:YAGレーザーの2倍高調波532.11nm出力を用い、出力は600mJ x 50Hz (30W)です。ビームは鉛直上方に送信されます。受信は、82cm、焦点距離8mのカセグレン式望遠鏡で、ダイクロイックミラーと干渉フィルターにより分光され、532nm(低感度、高感度)、531.1nm、528.8nm、660nmの5つのチャンネルの信号に分けられます。それらの信号は、光電子増倍管(PMT)により光子計数される。光子計数の距離分解能は、最大9mです。通常、72m分解能、1分積算でデータを取得しますが、MUライダーの周波数領域イメージング観測など高分解能観測との同時観測のときには高度時間分解能を最大9m、15秒まで上げてデータを取得しています。

4. 大気温度の計測

高度30km以上では、弾性散乱信号にエアロゾルのミー散乱信号が含まれず、大気分子からのレイリー散乱のみとみなせますが、大気の主成分の組成(窒素と酸素の組成比)は一定であり、平均分子量

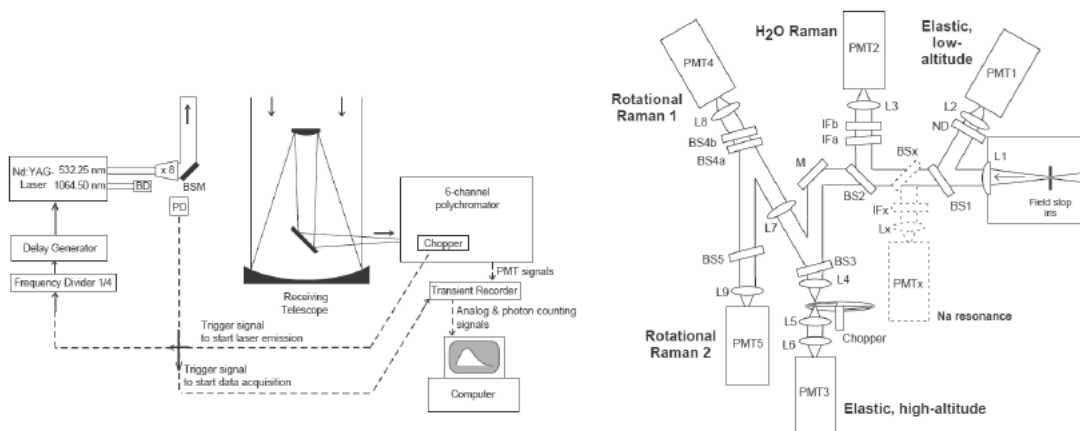


図2 信楽MU観測所のレイリー・ラマンライダーの構成 (Behrendt et al., 2004)

は一定とみなせますので、受信信号強度が大気密度に比例して高度（距離）の2乗に反比例することになります。したがって、ライダーの信号強度プロファイルから直接大気密度プロファイルを求めることができます。一方、密度プロファイルが分かれば、静水圧平衡(大気の圧力の高度変化が大気にかかる重力による状態)と気体の状態方程式を用いて、ある高度の大気温度が、その高度以上の密度プロファイルと上方の一点の温度（通常大気モデルを用いる）とを用いて求めることができます。基準となった上方の点でのモデルの誤差が問題となりますが、この基準点の誤差の影響は、誤差伝搬により下方の高度ほど小さくなるため、基準高度より10–20 km程度下方になると良好な温度プロファイルを与えます。このやり方を「レイリー積分温度(Rayleigh Integral Temperature)」といい、レイリーライダー観測で70年代より用いられてきました(Hauchecorne and Channin, 1981)。とくにライダー自体にキャリブレーションも必要ないことから、「校正不要」な温度観測として大気温度のトレンドなどの観測にも用いられる重要な観測です。

ところで、高度30km以下のエアロゾルからの散乱が無視できない高度ではレイリー積分温度は求められません。このような高度の温度を求める方法としては、「窒素や酸素分子の振動ラマン散乱」がエアロゾルからの散乱の影響を受けないで密度を求める方法として利用されることもあります。ラマン散乱強度が大気密度に比例するとみなして、レイリー積分温度と同様に温度プロファイルを求めることができます。なお、振動ラマン散乱はレイリー散乱に比べて3桁ほど散乱係数、すなわち信号強度が小さいが、高度30km以下の大気密度の大きな高度では可能です。ところが、このようなラマン散乱による「積分温度」も高度10–15 km以下の対流圏では、今度はエアロゾルによる光の散乱でおこる光の「消散」が無視できなくなるため、すなわち大気の透過率（正確には地面から当該高度までの光学的厚さ）が一定とみなせなくなり、信号強度から大気密度を求められなくなります。

そこで注目されるのが、信号強度プロファイル以外の温度計測法である、回転ラマン散乱を用いた温度計測です(Cooney and Pina, 1976)。回転ラマン散乱光のスペクトルが温度依存性を持つことを利用し、弾性散乱信号からわずかに離れた2波長を中心とする帯域通過フィルターの信号強度の比を取ることで、大気温度を計測することができます。この方法の優れたところは、エアロゾルだけでなく少々の雲があるところでも受信信号のSNRがある程度あれば温度が求まることであり、雲の内部や生成消滅過程などを捉えることもできます。

信楽観測所の大型レイリー・ラマンライダーは、当初のシステム構成は弾性散乱と窒素と水蒸気のラマン散乱を受信する仕様であり、大気温度はレイリー散乱によるレイリー積分温度と窒素振動ラマン散乱による積分温度を求めていました。高度範囲は、高度10–15 kmから90 kmとなっていました。2001年以降、ドイツGKSS研究所の協力もあり、純回転ラマン散乱を受信するための特殊な干渉フィルター1式をライダーに導入しました(Behrendt et al., 2002)。このフィルターは、干渉フィルター4枚を光軸上で数度傾けることにより反射と透過の特性を利用して、弾性散乱信号と2帯域の純回転ラマン信号を切り分けるようになっています。同ライダーで求めた回転ラマン散乱による温度とレイリー積分法による温度のラジオゾンデおよびモデル大気との比較を図3に示しました。信楽のレイリーラマンライダーシステムでは、高度1–2 kmから30–40 kmまでの温度が回転ラマン散乱で、30–90 kmの温度がレイリー散乱で観測できますが、このような高高度範囲の観測ができるライダーサイトは世界的にも限られています。

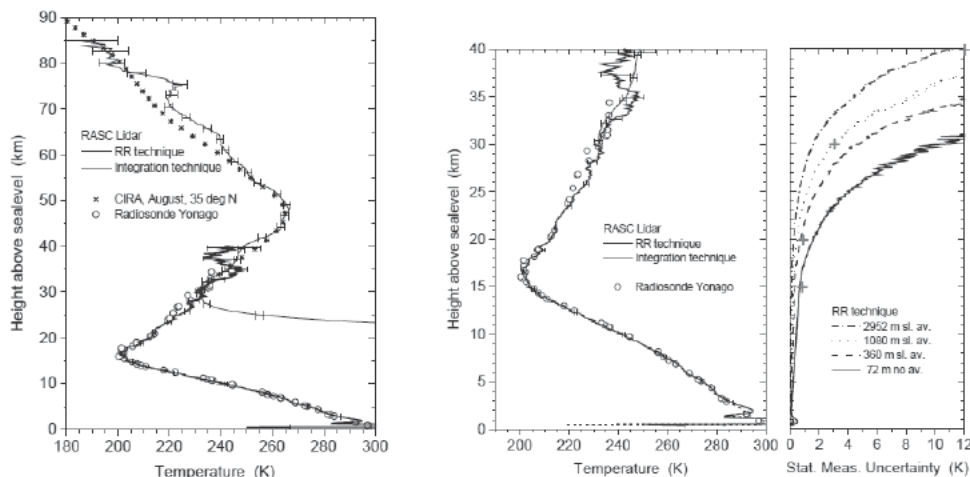


図3 信楽のレイジー・ラマンライダーによる温度観測の例。(左) CIRA モデル大気(●)およびラジオゾンデ (○) との比較。(右) 回転ラマン温度と温度誤差標準偏差。観測は2002年8月9-10日 23:15-00:27 JST。(Behrendt et al., 2004)。

5. 水蒸気量の観測

気体の水である水蒸気は、降雨などの気象現象に関わるだけでなく、潜熱輸送により大気熱エネルギー収支に深く関わる重要な成分です。その大部分は対流圏内でも地表近くの境界層内にあるが時間空間変化が激しいため詳細な時空間分布の観測は限られてきました。近年は温室効果ガスとしての役割も注目されており、そのリモートセンシングは極めて重要です。

我々は、信楽MU観測所のレイジー・ラマンライダーで水蒸気の振動ラマン散乱を受信し、窒素分子の振動ラマン散乱(あるいは大部分が窒素と酸素の散乱である回転ラマン散乱)を比べることで水蒸気混合比の高度分布を計測してきました(e.g. Imura et al., 2007)。しかしながら対流圏内の水蒸気量は中層大気などに比べてはるかに地域的な変化、すなわち空間変化が激しいため、移動式のラマンライダーの要求が高まってきました。また、大気レーダー(ウィンドプロファイラー)の音波電波併用レーダー(RASS)による温度プロファイルの機能にさらにレーダー散乱電波強度の解析から湿度のプロファイルを求める方法が開発され(Tsuda et al., 2001)てきましたが、この方法ではレーダーで観測可能ないずれかの高度の水蒸気量を境界条件とするために、一定高度の水蒸気量のモニターが必要となります。これらの要求に応えるために、高度範囲は限定されるものの小型で可搬型のラマンライダーを開発してきました。

開発した観測装置は、図4に示すような構成です。波長532nm, 30mJ, 20Hz 出力のQ スイッチパルスNd:YAG レーザーを送信に用い、532nm (弾性散乱), 607nm (N₂ 振動ラマン散乱), および660nm (H₂O 振動ラマン散乱) の3波長を35.5cm 径のシュミットカセグレンを用いて受信する構成になっています。このシステムでは絞りを絞って0.25-0.5mradの視野とすることで昼夜の連続観測が可能になり、30分積分で昼間においても高度400-500m付近までの水蒸気の観測が可能です(Nakamura et al., 2006)。また夜間に限定して絞りを開くと、高度4-5kmまでの水蒸気が観測可能になります。

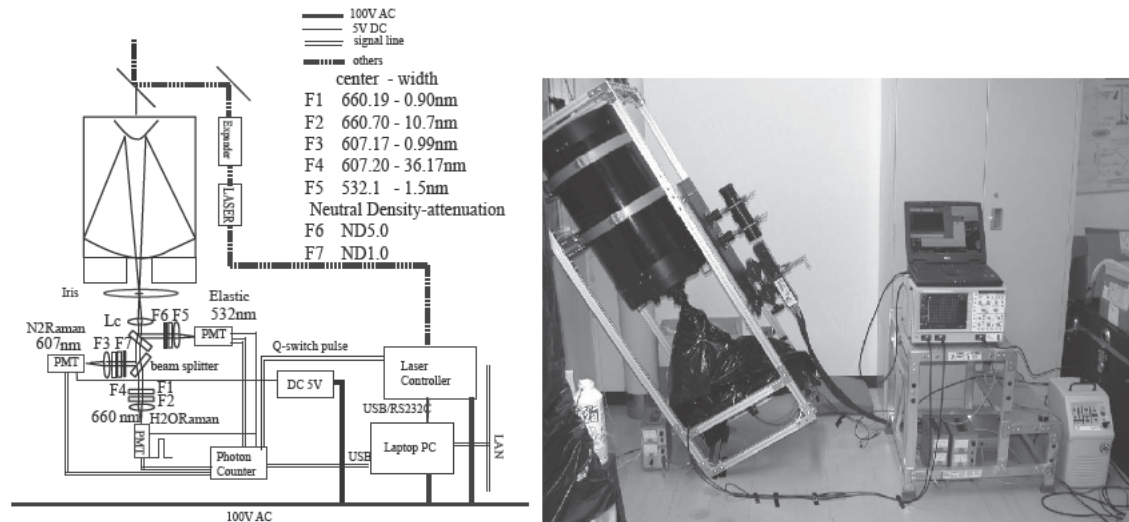


図4 小型水蒸気ラマンライダーの構成

システムは信楽MU観測所の観測棟内に設置して試験観測を行なったあと、後述の火山観測や水蒸気の水平分布観測などの実験を行ないました。2006年4月から独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) 沖縄亜熱帯計測技術センターで夜間観測モードで試験観測を開始し(仰角60度で射出), 2006年9月に400MHzのウィンドプロファイラーレーザーなどのある同センターの大宜味大気観測施設に移設し観測を行っています(仰角45度で射出)。自動観測はPC制御で行なわれており、ネットワークを経由してデータが転送されています。30分の積分時間で高度4km程度まで水蒸気のプロファイルが取

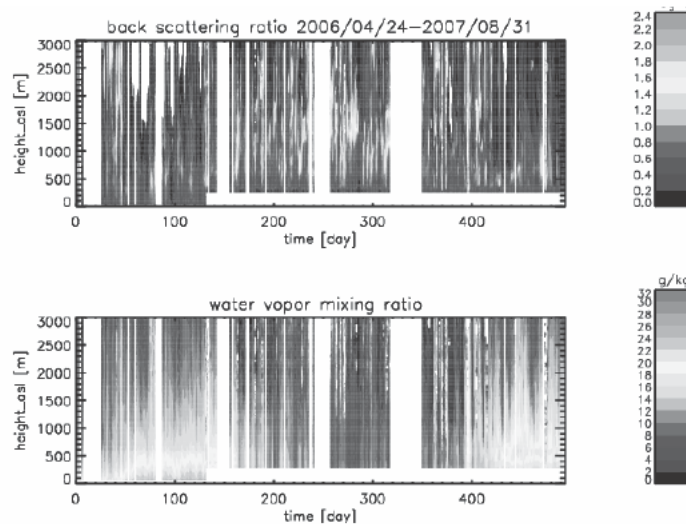


図5 小型水蒸気ラマンライダーによる沖縄での水蒸気混合比(下)および後方散乱比(上)の夜間平均値の季節変化。日数は2006年4月24日を基準にしている。2007年8月31日までの観測。2006年9月2日までは恩納村、それ以降は大宜味村での観測。

得できる他、後方散乱比も観測しています。

これまでの観測で夏季に水蒸気が多く、冬季に少ない季節変化(図5)や夜間の水蒸気変動、日々変化などが後方散乱比による雲・エアロゾルの消長とともに観測されています。GPS衛星による掩蔽観測データとの比較は、高度6km以下で衛星観測のフットプリントとライダー観測点の距離が100km以下の例が、2006年9月以降2007年6月まで11例観測されています。この例ごとに、那覇で行なわれている気象庁のラジオゾンデ観測とも比較してその差異を検証しています。基本的にはライダー観測とGPS掩蔽観測データはよい一致を示していますが、ライダー観測で時間変化が顕著に観測されるときほど掩蔽観測とライダー観測の差が見られるように思われます。そこで、ライダー観測と那覇のラジオゾンデ観測から水蒸気的时间変化と空間変化の相関をみることにしました。図6をみると、時間変化と空間変化には正の相関が見られることがわかります。掩蔽観測とライダー観測のデータを比較する場合、その日の水蒸気の変化の度合いを考慮する必要があることがわかります。

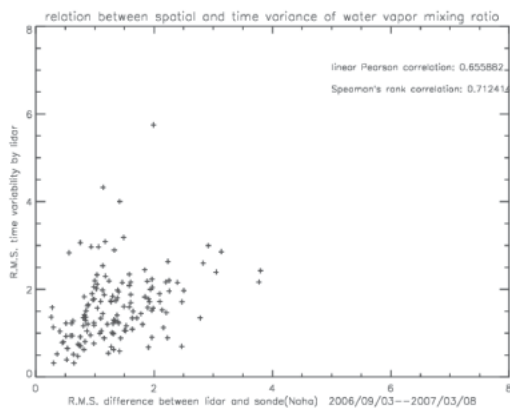


図6 水蒸気量の水平空間差(横軸)時間変動の大きさ(縦軸)との相関図。横軸は那覇のラジオゾンデ観測と大宜味待機観測所でのライダー観測の水蒸気量の差。12時UTの値。縦軸はライダーによる夜間の水蒸気量的时间変化の大きさ。高度2-3kmでの値。

6. さらに可搬性を高めた水蒸気ラマンライダーと火山噴気・森林大気の観測

前述の小型ライダーは移動観測可能なものの総重量は150kg程度でワンボックスのワゴンでの移動がやっとでした。移動にも3-4人の人員が必要でした。それでも、移動観測により、阿蘇山中岳の火口での噴気の観測、また信楽MU観測所での水蒸気水平分布と変動の観測など新たな観測対象を開発してきました。

火山から放出される噴気ガスの90%以上は水蒸気です。この水蒸気による潜熱輸送は、火山から放出される熱エネルギーのほとんどを占めます。とりわけ、非噴火時にはほぼ定常的な熱輸送の媒体として重要です。そのため、火山噴気中の水蒸気濃度やそのフラックスを知ることは極めて意義があります。また、H₂Oの含有量はマグマの爆発性を決定づける重要な要素です。噴気中の全H₂Oを測定することは、マグマ起源のH₂O量を精度よく推定するためにも欠かせません。しかし、これまで噴気中のH₂Oをリモートセンシングで測定することは困難でした。すなわち、これまでは噴気の組成のリモートセンシングには主にDOAS(差分吸収分光)やFTIR(フーリエ変換型赤外分光計)などの受動的な光学観測が用いられてきましたが、水蒸気は大気中にも多量に存在するため、噴気中のH₂Oだけを区別することが困難だったからです。ライダーは、アクティブなリモートセンシングで、視線方向の濃度分布が測定できるため、火山噴気内外の水蒸気分布を精密に測定することが期待できます。

また森林大気も近年急速にクローズアップされてきた観測対象です。とりわけ、森林内や上部におけるCO₂のフラックスの計測は、グローバルな炭素循環や森林のCO₂固定能力の評価などと直接絡む重要な観測で各地でタワーによるCO₂の観測が行われてきました。しかしながら、その結果の評価には水平一様な森林を仮定したモデル計算が使われるなど不確定な部分があり、森林内や森林上空の大気構造やその時空間変化を測定することは極めて重要です。本研究で開発したライダーは、CO₂などの炭素循環関係の微量成分は感度が充分でなく計測困難ですが、100倍程度混合比の大きい水蒸

気の分布やその変動は充分観測が可能です。よって、森林などアクセスが容易でないサイトでの運用も可能な移動式ラマンライダーの開発が課題となってきました。

これらの背景を受けて、さらに小型のラマンライダーを開発した。レーザーは同じく532nm, 0.6WのパルスNd:YAGレーザーを用いて、可動性を高めるために高感度のPMT(GaAsP)検出器とさらに小型の望遠鏡(直径20.3cm)を組み合わせることで、感度を損なうことなくシステムを小型に改良しました(図7)。ただし、昼間の観測はあきらめて夜間の観測に限定されます。システムは装置を三脚に載せることが可能になり大幅に可搬性が向上しました。2007年6月4日には阿蘇山中岳において日没後に火口南縁から水平2方向にビームを交互送出して(図8)水蒸気分布と後方散乱比を計測しました。計測は約10分の測定を噴気方向は3回、噴気なし方向は2回繰り返し行ないました。その結果、距離

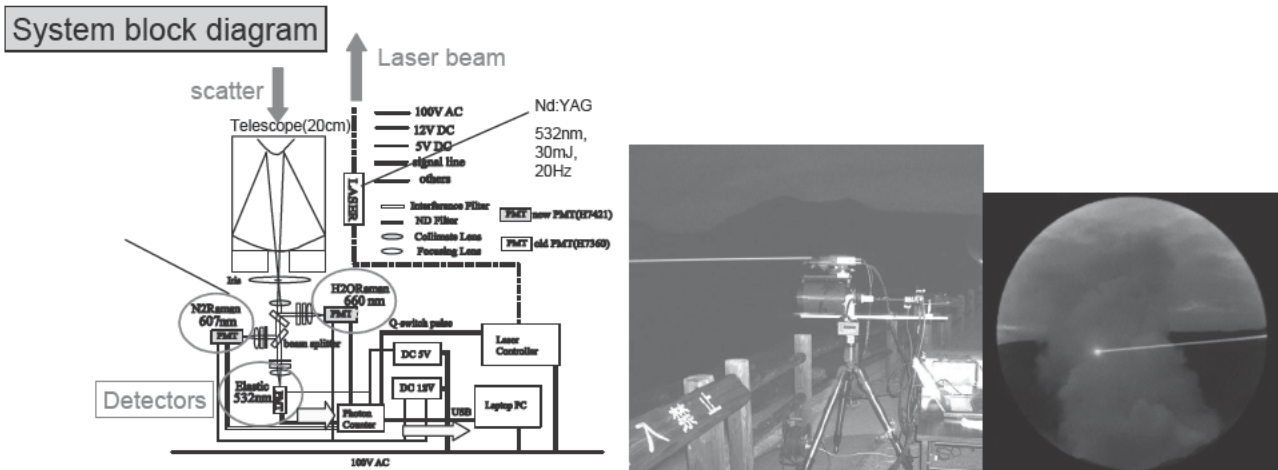


図7 フィールド観測用水蒸気ラマンライダーの構成。右は阿蘇山での観測の様子。

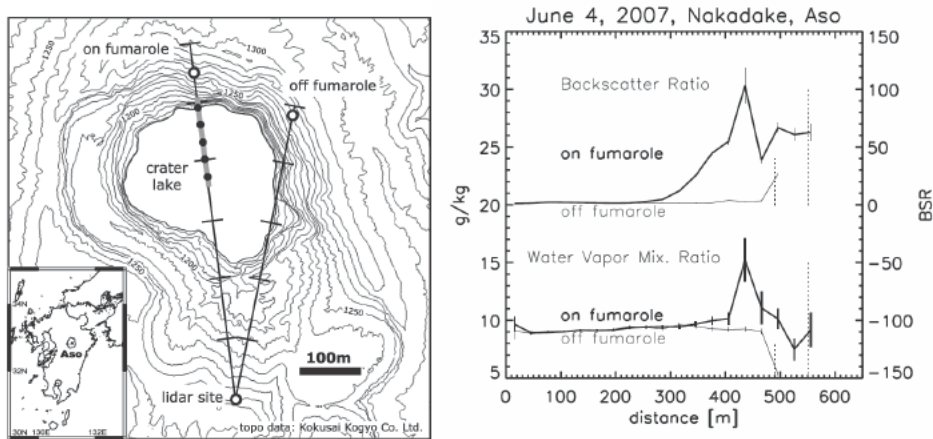


図8 阿蘇山中岳で観測した水蒸気の水平分布。(左) 観測方向。左が噴気あり、右が噴気なし方向。距離の目盛りは100m。(右中) 水蒸気混合比。(右) 後方散乱比。噴気ありの方向は10分の観測3回の平均。噴気無し方向は10分の観測2回の平均。2007年6月4日。

400m 付近の噴気中央の水蒸気混合比(比湿) が、周囲の大気に比べ6g/kg 程度大きいことが観測された。噴気の上昇速度(2.2m/s) とライダー観測による直径(150m) を考慮すると50kg/s 程度の水蒸気フラックスつまり火口からの噴気の噴出を有することが見積もられました。この値は、plume-rise 法と呼ばれる種々の仮定のもとに噴気の形状変化から見積もられる数値等と矛盾のない値となりましたが、ライダー観測によってその精度が大幅に向上することが期待されます。このようなライダー観測の火

山噴気水蒸気計測への応用はこれまで例を見ないものです。

さらに、このライダーシステムを用いて、火山湖上の水蒸気の2次元分布を計測する実験を北海道登別温泉・大湯沼において実施しました。2007年10月12日に行なった実験では、湖面から8mの高度の水蒸気分布を水平方向に1分毎に計測し12方向に水平スキャンしました。観測地の様子と水平スキャン方向、および観測結果の水蒸気分布を図9に示しました(Nakamura et al., 2008a)。湖面温度を赤外カメラでも撮影しましたが、湖面の西側の噴気の噴出部近くが温度が高温になっており、ライダー観測でも湖面の西側の水蒸気が多いことが示されました(北東の大きな値は山の斜面による反射である)。詳細な湖面水蒸気の蒸発モデルとの比較検証はまだこれからですが、水蒸気の2次元分布を初めて示したことは極めて有意義な結果であると言えるでしょう。

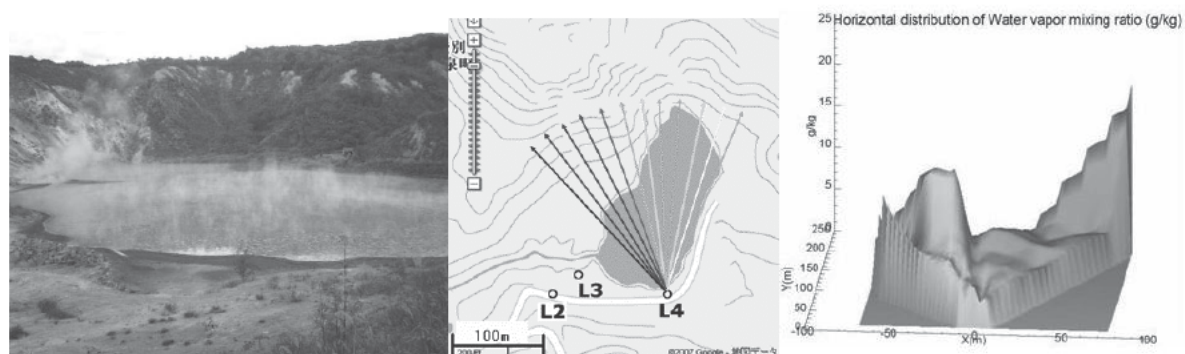


図9 北海道登別温泉・大湯沼で観測した水蒸気の水平分布。(左) 観測地のようす。左が高温部。(中) ライダーの観測地点と観測方向。1分毎に12方向にスキャン。(右) 観測された水蒸気混合比の2次元分布。2007年10月12日のデータ。

7. まとめ

以上、大気力学の重要な物理量である大気温度と水蒸気量のリモートセンシングにラマンライダーを応用したシステムとその応用例を紹介しました。近年は性能のよい光学フィルターが入手容易になったため実用的な回転ラマンライダー、水蒸気ラマンライダーの開発が可能になり応用範囲が広がりました。今後我々が開発した小型のライダーシステムを用いてフィールドに飛び出し、レーザービームを振り回して種々の現象の計測を行ないたいと思っています。

参考文献

- Behrendt, A., T. Nakamura, M. Onishi, R. Baumgart, and T. Tsuda, Combined Raman lidar for the measurement of atmospheric temperature, water vapor, particle extinction coefficient and particle backscatter coefficient, *Applied Optics*, 41, 7657-7666, 2002.
- Behrendt, A., T. Nakamura, T. Tsuda, Combined Raman lidar for the measurement of atmospheric temperature, water vapor, particle extinction coefficient, and particle backscatter coefficient: System upgrades, *Appl. Optics*, 43(14), 2930-2939, 2004.
- Cooney, J. and Pina, M., Laser radar measurements of atmospheric temperature profiles by use of Raman rotational backscatter, *Appl. Opt.*, 15, 602-603, 1976.
- Hauchecorne, A., and M.-L. Channin, Density and Temperature profiles obtained with lidar between 30 and 70 km, *Geophys. Res. Lett.*, 7, 565-568, 1981.
- Imura, S., J. Furumoto, T. Tsuda and T. Nakamura, Estimation of humidity profiles by combining co-located VHF and UHF wind-profiling radar observation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 301-319, 2007.

- Nakamura, T., N. Sugimoto, T. Tsuda, M. Abo, T. Hashimoto, A. Terada, Observation of water vapor with a portable Raman lidar –continuous monitoring and field experiments over the forest and at the volcano--,
Proceedings of 23rd International Laser Radar Conference, 24-28 July 2006, Nara, Japan, 2006.
- Nakamura T., T. Hashimoto, A. Terada, Y. Katsube, J. Maruyama, T. Tsuda, Field observations of water vapor distribution in volcanic plumes with a Raman lidar, Proceedings of 24th International Laser Radar Conference, June23-27, 2008, Boulder, USA, 2008a.
- Nakamura, T., T. Hashimoto, A. Terada, N. Sugimoto, Y. Katsube, and M. Abo , First measurement of water vapor distribution in volcanic fumaroles using a Raman lidar located by an active crater, submitted to *Geophys. Res. Lett*, 2008b
- Tsuda, T., M. Miyamoto, and J. Furumoto, Estimation of a humidity profile using turbulence echo characteristics, *J. Atmos. Oceanic. Tech.*, 18, 1214-1222, 2001.

「かぐや」による月の科学，月での科学，月からの科学*

橋本弘藏**

1. はじめに

月周回衛星「かぐや (SELENE)」は、2007年9月14日10時31分に宇宙航空研究開発機構 (JAXA) により打ち上げられた、月の起源と進化の解明のための探査機である。高度約 100km、周期 118 分の極・円軌道を周回する主衛星と、2機の子衛星から構成されている。14種類のミッション機器が搭載され、順調に観測を続けており、アポロ計画以来最大規模の本格的な月の探査である。周回衛星「かぐや」による、月の地形、測距、地下構造、鉱物分布、重力異常の観測や、月での磁場、太陽風、プラズマ、電磁波動の観測、月からのテレビ、可視、極紫外線による地球やその周辺の観測といった科学成果を紹介する。

2008年10月の生存圏研究所公開講演会以降に、米国の科学誌「サイエンス」や地球物理学連合 (AGU) の雑誌に多数掲載されるなど、注目される成果を挙げてきた。本稿は講演会の原稿に、これらの成果を中心に加筆したものである。カラーの図や詳しい説明は掲載していないが、後述の JAXA の「かぐや」関連ホームページを参照されたい。

2. 観測装置と初期結果¹⁾



質量:	約 3 ton (打ち上げ時) (子衛星約 50kg × 2機を含む)
構体外形寸法:	約 2.1 × 2.1 × 4.8m
姿勢制御方式:	3軸固定
発生電力:	約 3.5 kW (最大)
ミッション期間:	約 1 年
観測軌道:	高度 100km / 軌道傾斜角 90度

図 1 : かぐやの概要 © JAXA¹⁾

かぐやの軌道は、高度 100±30km、軌道面傾斜角 90 度、周期 118 分、月表面移動速度 1.6km/s で、周回毎の軌道間隔は高度 100km で 33km である (図 1)。搭載されている観測装置について、大きく分けると以下ようになる。

1) 月の表面の物質の元素や鉱物の組成などを調べる、蛍光 X 線分光計 (XRS)、ガンマ線分光計 (GRS)、マルチバンドイメージャ (MI)、スペクトルプロファイラ (SP)。

*2009年6月26日作成

** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所生存圏電波応用分野 mail: kozo@rish.kyoto-u.ac.jp

2) 月の地形、地下構造を調べ、月の進化や火山活動など、月の活動史を明らかにする、地形カメラ(TC)、レーダサウンダー(LRS)、レーザ高度計(LALT)。

3) 月の運動や重力などを調べる、衛星電波源(VRAD)、リレー衛星(RSAT)。

4) 月の表面の岩石の磁場を調べて、過去の磁場を調べる、磁力計(LMAG)。

5) 月から地球の磁気圏やプラズマ圏の観測を行う、プラズマイメージャ(UPI)。

6) 将来の人類の月への進出に備え、月の環境、すなわち放射線や粒子線の量などを調べ、危険度などの判断材料を提供する、粒子線計測器(CPS)、プラズマ観測器(PACE)、電波科学実験(RS)。

7) 月の上空からみた「地球の出」の映像などを撮影する、ハイビジョンカメラ(HDTV)。

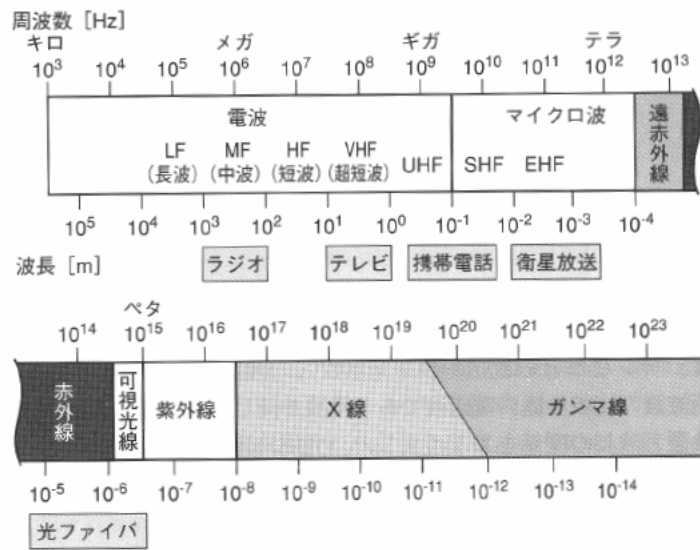


図2：光の周波数と波長³⁾

個々の観測装置の概要を以下に述べる^{1,2)}。観測に用いられているアルファ線はヘリウムの原子核からなる粒子線であるが、図2のように可視光線、紫外線、X線、ガンマ線は電磁波で、この順で波長が短くなってゆく。すなわち、様々な波長で観測を行なっていることになる。

2.1 蛍光X線分光計(XRS)

太陽から放射されるX線が、月表面の物質で反射して、蛍光X線を発する。物質に含まれる元素によってそれぞれ波長が異なるので、月の表面にある元素や、その量が推定できる。特に、マグネシウム、アルミニウム、ケイ素、鉄などの量を調べる。今までには、アポロが持ち帰った月の岩石しかない。XRSは20kmの空間分解能を誇る。

打上げ時期の遅れにより、太陽X線が一番弱い時期になり、源になる太陽フレアが発生しないために、本来の観測ができていない。しかし、図3のように太陽に依らないX線のスペクトルが観測されている。太陽によらないカルシウムや鉄のX線の蛍光発光は重要な発見である⁴⁾。

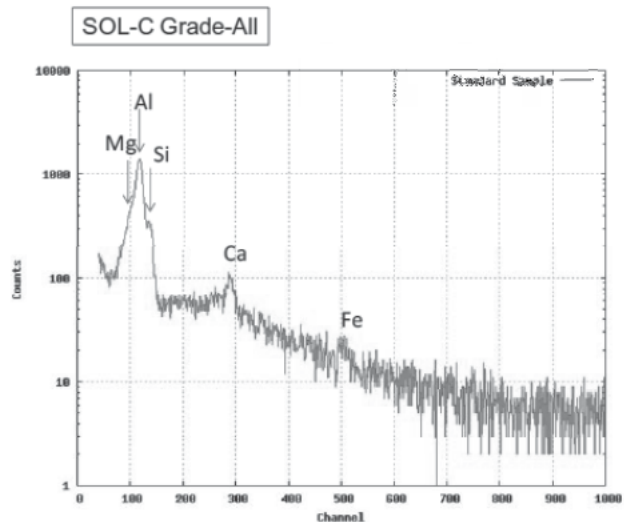


図3：太陽によらないX線蛍光発光⁴⁾

2.2 ガンマ線分光計(GRS)

地球と同様に、月の表面からは天然放射性元素であるカリウム、ウラン、トリウムからガンマ線が

放出されている。また、大気のない月では、宇宙線が直接月面に当たり、月の主要元素である鉄、チタン、カルシウム、珪素、アルミニウム、マグネシウム、酸素などからガンマ線が放出されている。γ (ガンマ) 線分光計は、それらのガンマ線から元素とその濃度の空間分布を調べることであり⁵⁾。カリウムやウラン、トリウム

のガンマ線から月の内部の放射性元素量や熱の蓄積が分かる。0.2-12MeV の広範なエネルギーを高分解能で測定できるので、これまでになく高精度で元素を同定することができる。空間分解能は約 100km である。極地の永久影の表面に水 (氷) が存在すれば、水素の存在の有無を直接観測できる。

「かぐや」に搭載したガンマ線分光計により初期 2 ヶ月間で観測したエネルギースペクトルを、図 4 の太線で示した⁵⁾。上述の主要元素や自然放射性元素がはっきりと観測された。比較のためにルナ・プロスペクター²⁾で得られたエネルギースペクトルを細線で示した。明らかにかぐやの分光計のほうが高い分解能で月からのガンマ線を観測していることがわかる。

「かぐや」に搭載したガンマ線分光計により初期 2 ヶ月間で観測したエネルギースペクトルを、図 4 の太線で示した⁵⁾。上述の主要元素や自然放射性元素がはっきりと観測された。比較のためにルナ・プロスペクター²⁾で得られたエネルギースペクトルを細線で示した。明らかにかぐやの分光計のほうが高い分解能で月からのガンマ線を観測していることがわかる。

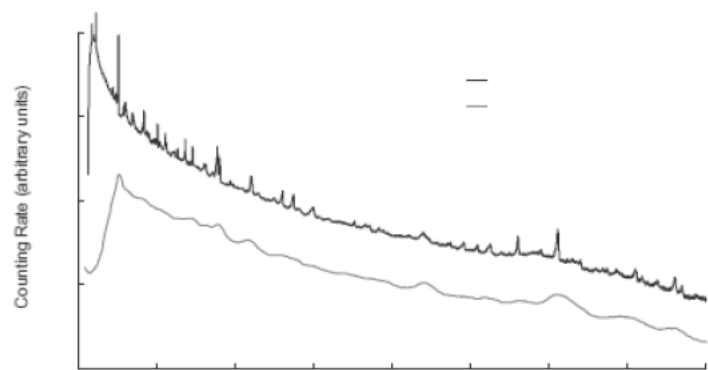


図 4 : かぐや(太線)とルナ・プロスペクタ(細線)の GRS で得たエネルギースペクトルの比較⁵⁾

2.3 マルチバンドイメージャ(MI)

月表面を 9 つの波長で観測して、それぞれの波長の強弱から、月の表面を構成する鉱物の種類を調べる。表面の岩石種が分かれば、月の表面がどのようにしてできたかも推測できる。可視光で 20m、近赤外で 60m の高い空間分解能を有する。

図 5 a に単一のバンドで得られた画像を示す。同図 b には、1994 年に打ち上げられたクレメンタインで得られた同様の画像を示したが、これよりもかなり解像度が高くなっている⁶⁾。カラーの図なのでここには示さないが、2 つの波長バンドの強度比を求めることにより、クレータ形成時に月表面に掘り起こされた物質の分布や、クレータ地下に存在する鉱物の化学組成を知ることができる⁷⁾。

2.4 スペクトルプロファイラ(SP)

スペクトルプロファイラも、マルチバンドイメージャと同様、月表面の岩石のスペクトルを測る。しかし、マルチバンド イメージャと異なり、衛星直下の月面からの 0.5-2.6 μ m の波長範囲の光を 3 つの検出器と 2 つの回折格子を用いて 296 に分割し、その強弱を極めて精密に調べることが出来る。実験室に

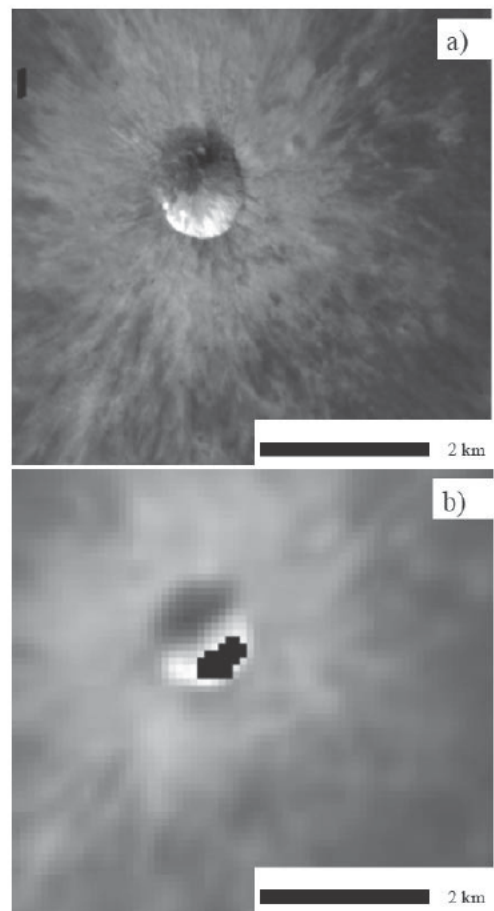


図 5 : MI 750nm バンドの画像比較 a)かぐや、b)クレメンタイン⁶⁾

おける月サンプルの 1.2-1.3 μm での吸収との比較から、月裏側の Jackson クレータの中央丘において、月面で初めて結晶質斜長石からなる岩体を発見する等の成果を既にあげており、米国 AGU の雑誌 (GRL)に掲載された⁸⁾。

2.5 地形カメラ(TC)

衛星の斜め前方と後方みるための 2 つの可視域単色カメラからなる。高度 100km から 1 画素あたり 10 メートルという高分解能で撮影する。2 つのカメラの視差から、月の地形を立体的に知ることができ、全球の高精度数値地形モデル(DTM)を作成する。なお、マルチバンドイメージャ、スペクトルプロファイラ、地形カメラを合わせて、月面撮像/分光機器 (LISM)と呼んでいる。図 6 に立体視ペア画像から作られた東西南北各方角からの俯瞰図を示す。高分解能であることも分かる⁹⁾。

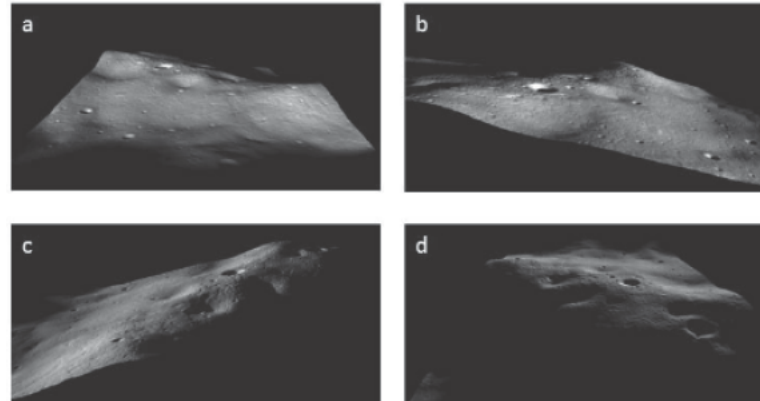


図 6 : TC 立体視画像から得られた透視図©JAXA⁷⁾

月の南極点近くに存在するシャクルトンクレーター内部の太陽光が 1 年中全く当たらない永久影の領域の撮像に世界で初めて成功し、クレータ底表面には、水氷が存在しないか、あったとしても非常に少ない量であることを明らかにし、「かぐや」の成果としてはじめて「サイエンス」に掲載された¹⁰⁾¹¹⁾。また高分解能を生かして、月の海のクレータの個数密度からその場所の形成年代を推定し、25 億年前と従来よりも若い時代までマグマの噴出活動が継続していたことを示した¹²⁾¹³⁾。

2.6 レーダサウンダー(LRS)

月の表面へ 5MHz の短波帯の電波を放射して、月の表面や地下数 km 位からの反射波の往復時間や強度を測定し、その地下構造を調べる。地形カメラなどのデータを組み合わせ、月の表面の構造を、地下まで含めて立体的に知ることができる。

図 7 に LRS で観測されたエコーの高さ(距離)に対する強度分布の例を示す。表面からの強いエコー(Surface Echo)に対して、弱いエコー(Subsurface Echo)が地下から返ってきているのが分かる¹⁴⁾。詳細は合成開口レーダの手法を用いて、詳しく解析される。かぐや画像ギャラリーに表示されている⁷⁾。LRS には、筆者らが設計した、1MHz 以下の電波を観測する装置も搭載されて

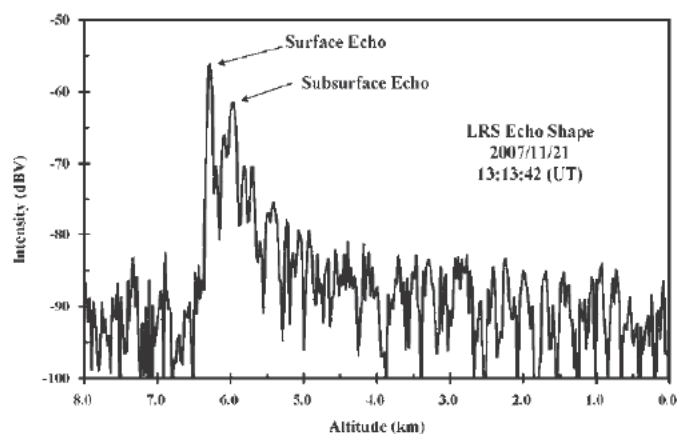


図 7 : 地下からのエコー⁸⁾

おり、月の影であるウエイクでの電子密度分布測定をはじめ、地球周辺の衛星で見られる静電孤立波やオーロラキロメータ放射の月の影響を受けた観測とそれらの解析などを行なっている。

月の表側の起伏が少ない海において、多数のエコーの解析に成功しており、地下数百メートルの深さ

に層状構造があることや、その層は褶曲¹していることを示した。この深さは 1972 年のアポロ 17 号による観測よりも浅いものであった。また、褶曲状況から、褶曲を起こした地殻変動は地層群の自らの重さによって発生したものであるとの従来の考えを覆し、月全体の冷却が主たる要因となっていることを発見した。これらは「サイエンス」に掲載された¹³⁾¹⁵⁾。

2.7 レーザ高度計(LALT)

周回衛星からレーザ光を放射し、その反射の往復時間を調べ、月の表面の地形の起伏、高度を精密に測定する。このデータは、衛星電波源やリレー衛星による観測とも組み合わせ、月の内部構造を詳しく調べる。さらに TC の画像と統合して、地形図を作製する。図 8 に観測例を示す⁷⁾。

LALT は観測を続け、従来よりも 2 桁高い 0.5 度の精度で月の全球地形図も作製した。その結果、2-300km 以下のサイズの地形再現を劇的に向上させ、月の最高地点、最低地点の場所や高度を明らかにした。この成果は「サイエンス」に掲載された¹³⁾¹⁶⁾。

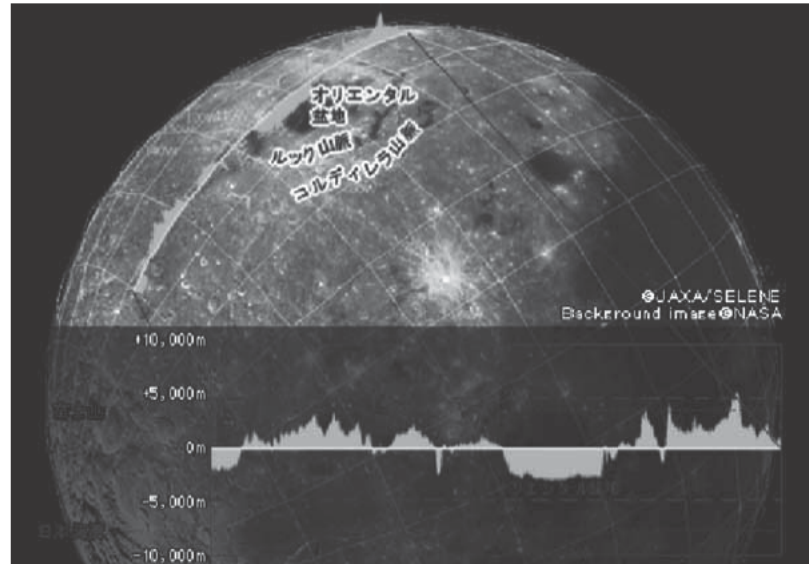


図 8：高度計データ例©JAXA⁷⁾

2.8 衛星電波源(VRAD)

リレー衛星(おきな)、VRAD 衛星(おうな)に搭載された 2 つの電波源から発せられる電波により、月の重力を精密に測定する。衛星は、月の重力によって軌道が変化し、電波が地上に伝わる時間も変化する。2 つの電波を使ってその差を測定し、軌道の変化を極めて高精度に求めることができる(VLBI：超長基線電波干渉法)。この軌道の変化から、月の重力の様子を詳しく割り出し、月の内部を知る手がかりを得る。

成果はリレー衛星および電波科学実験の項で述べる。

2.9 リレー衛星(RSAT)

月は公転と自転の周期が一緒であるため、月の裏側を見ることが出来ない。つまり、周回衛星が月の裏側の上空を飛行しているときには、周回衛星からのデータを受信できない。リレー衛星は、月の裏側にいる周回衛星と、地球との電波の中継を行う。これによって、衛星電波源のデータを裏側でも取得でき、これまでほとんど測られたことがなかった月の裏側の重力場のデータを測ることができる。

VRAD と RSAT を用いて月の表側のみならず裏側でも重力分布の測定を行い、両者ではっきりした重力異常の違いを発見した。月の裏側のアポロ盆地では、負の重力異常となっており、地形の凹みや、地下に軽い物質が埋もれていることを示していた。さらに外に向かって同心円状に正の異常も存在していた⁷⁾。月全体の重力分布を観測し、これらの成果は「サイエンス」に掲載された¹³⁾¹⁷⁾。

¹ しゅうきよく：地層の側方から大きな力が掛かった際に、地層が曲がりくねるように変形する現象のこと (<http://ja.wikipedia.org/wiki/褶曲>)。

2.10 磁力計(LMAG)

月にはかつて磁場があったといわれているが、磁力計は、月の磁気異常や現在の磁場環境を測定する。これにより、地球のように中心部に液体の核(コア)が存在し、その対流で磁場が生じる(ダイナモ説)のかといった月の磁気異常の起源の解明を目指す。磁力計は衛星本体からの影響を避けるため、12メートルのマストの先端に取りつけられている。

磁気異常を高精度で測定している他、プラズマ観測器(PACE)との共同観測を順調に続けている。

2.11 プラズマイメージャ(UPI)

月には空気がないので空気による光の影響を受けず、月は1ヶ月で地球を一回りするので、地球を取り巻いて全体を観測できる、非常に適した環境である。地球を取り巻くプラズマによる酸素イオンとヘリウムイオンによる発光を、紫外線で撮影して、月から地球の磁気圏、プラズマ圏を調べる。可視光では、オーロラや電離層から発せられる光(大気光)なども捉える。

調整に時間を要したが、機器は順調である。観測には条件が多い²⁾。

2.12 粒子線計測器(CPS)

宇宙線や太陽から放射される高エネルギー放射線の量を測定し、将来、人間が月に進出時の放射線の危険性に関する基礎的データを得る。また、月の表面の物質に含まれるラドンから放出されるアルファ線も測ることができる。ラドンガスの放出量は、月表層の地下構造や月表面の地殻変動と密接に関係していると考えられており、月の内部構造や進化の歴史を調べることができる。

初期トラブルがあり遅れていたが、その後順調にデータを集積中である。

2.13 プラズマ観測器(PACE)

月周辺の、太陽風などが原因で存在している電子やイオンを調べ、太陽風と月・地球との相互作用や、月と地球の磁気圏の相互作用の解明などを目指す。また、希薄な月の大気中に存在するナトリウムやカリウムなどの分布を調べ、それらの元素の成因を究明する。

二つのイオン観測器を用いて、太陽風のイオンと、月で反射された太陽風のイオンの観測に成功した。その量は入射イオンの0.1-1%であった¹⁸⁾。反射されるイオンは太陽風中のヘリウムではなく、陽子であることや、加速されていることなどを明らかにし、米国AGUの雑誌(GRL)に掲載された¹⁹⁾。

2.14 電波科学実験(RS)

電波科学観測は、搭載装置はないが、「おうな(VRAD)」から地球へ送信される電波を使って観測を行う。この電波が、月面すれすれを通るときに受ける変化から、月の電離層の影響を調べる。理論どおり、1cm³あたり1個程度なのか、ソ連の観測のように千個もあるのかに決着をつけることが出来る。ちなみに、地球の電離層には、最大100万個も存在する。

図9に電波の通路の図と、電離層の影響を受けた位相(厳密には、二つの周波数の電波を使った差動位相)の変化を示す。位相の長期変動は地球の電離層の影響であるが、月の表面近くで僅かな位相の増加が観測されている。月の昼側でこのような観測結果が多く見られており、月の電離層に起因するものである可能性があるが、地球電離層がもたらす誤差が大きいため、さらなる解析とデータ蓄積を進めている²⁰⁾。

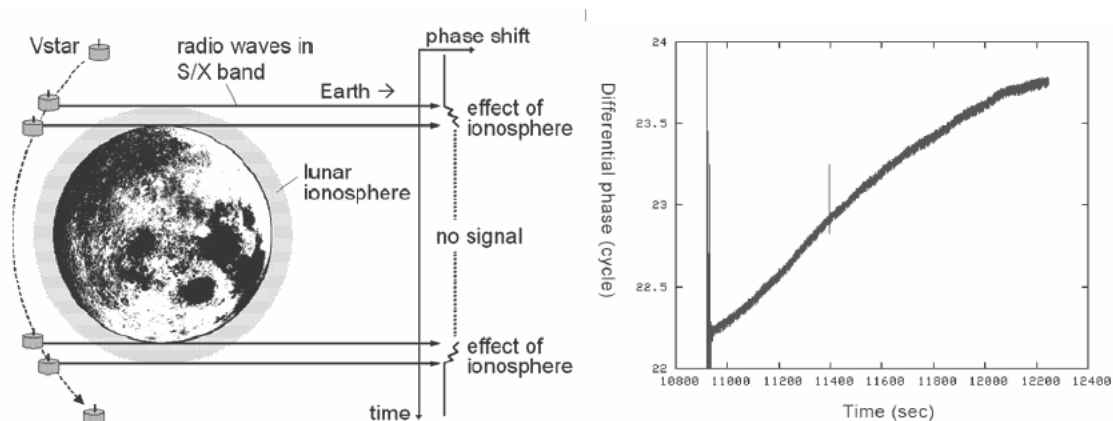


図9：電波科学実験の原理と位相変化の観測例¹⁹⁾

2.15 ハイビジョンカメラ(HDTV)

望遠と広角の220万画素のCCD撮像素子のハイビジョンカメラを搭載し、月の上空から見た「地球の出」や「地球の入り」や月面などの映像を撮影する。月からのハイビジョン映像の送信は世界で初めての試みである。お茶の間に月の映像や月から見た地球のハイビジョン映像を送り、多くの人々の関心を盛り上げた意義は大きい⁷⁾。

3. むすび

分光計、多スペクトル観測、地上カメラ、地下構造、高度計、重力計測、プラズマ計測、電波科学などの「かぐや」の観測結果の一部を示した。公開講演以降に得られた情報も追加して紹介した。なお、「かぐや」は、平成21年6月11日午前3時25分、月表面に落下し役割を終えた。

謝辞

宇宙航空研究開発機構(JAXA) や多数の観測機器PI、担当者の協力を得た。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) http://www.kaguya.jaxa.jp/ja/about/about_sat_j.htm かぐやプロジェクトの概要
- 2) 青木満、月の科学、ベレ出版、2008.
- 3) 山下、イラスト・図解、光ファイバ通信のしくみが分かる本、技術評論社、2002.
- 4) Okada, T., et al., X-ray fluorescence spectrometry of lunar surface by XRS onboard SELENE (Kaguya), 2008-k-40, 26th Intern. Symp. On Space Technology and Science (ISTS), Hamamatsu, Japan, June 2008. <http://www.senkyo.co.jp/ists2008/pdf/2008-k-40.pdf> 以下のISTSの引用文献は同様にアクセス可能
- 5) Hasebe, N., et al., High Performance Germanium Gamma-Ray Spectrometer on Lunar Polar Orbiter SELENE (KAGUYA), 2008-k-41, ISTS, 2008.
- 6) Ohtake, M., et al, Preliminary Results of the SELENE Multiband Imager, 2008-k-43, ISTS, 2008.
- 7) http://wms.selene.jaxa.jp/index_j.html かぐや画像ギャラリー
- 8) Matsunaga, T., et al., Discoveries on the lithology of lunar crater central peaks by SELENE Spectral Profiler, Geophys. Res. Lett., **35**, doi:10.1029/2008GL035810, 2008.
- 9) Haruyama, J., et al, Preliminary Results of the SELENE Terrain Camera, 2008-k-44, ISTS, 2008.
- 10) Haruyama, J., et al., Science, **322**, 938-9393, 7 November 2008.
- 11) http://www.jaxa.jp/press/2008/10/20081024_kaguya_j.html カラーの図を含む解説がある。

- 12) Haruyama, J., et al., *Science*, **323**, 905-908, 13 February 2009.
- 13) http://www.jaxa.jp/press/2009/02/20090213_kaguya_j.html カラーの図を含む解説がある。
- 14) Ono, T., et al., Initial Results from the Lunar Radar Sounder Observation on-board the Kaguya (Selene) Spacecraft, 2008-k-47, ISTS, 2008.
- 15) Ono, T., et al, Lunar Radar Sounder Observations of Subsurface Layers under the Nearside Maria of the Moon, *Science*, **323**, 909-912, 13 February 2009.
- 16) Araki, H., et al., Lunar Global Shape and Polar Topography Derived from Kaguya-LALT Laser Altimetry *Science*, **323**, 897-900, 13 February 2009.
- 17) Namiki, N., et al., Farside Gravity Field of the Moon from Four-way Doppler Measurements of SELENE (Kaguya), *Science*, **323**, 900-905, 13 February 2009
- 18) Saito, Y., et al., Low Energy Charged Particle Measurement by MAP-PACE Onboard KAGUYA, 2008-k-49, ISTS, 2008.
- 19) Saito, Y., et al., Solar wind proton reflection at the lunar surface: Low energy ion measurement by MAP-PACE onboard SELENE (KAGUYA), *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L24205, doi:10.1029/2008GL036077, 2008.
- 20) Imamura et al., Studying the Lunar Ionosphere with the SELENE Radio Science Experiment, 2008-k-54, ISTS, 2008.

インドネシアアカシカマンガウム大規模造林地における 降水特性*

山根 悠介**, 塩谷 雅人***, 林 泰一****, Rosyid Gunawan*****

Characteristics of rainfall in an industrial plantation of *Acacia mangium* in Indonesia*

Yusuke Yamane **, Masato Shiotani ***, Taiichi Hayashi **** and Rosyid Gunawan *****

概要

本稿はインドネシア南スマトラのアカシアマンガウム大規模造林地における降水特性について述べたものである。造林地に設置されている雨量計の観測データを用いた林地内における降水の季節変化、日変化、地域性について調べた結果を報告する。

1. はじめに

森林と大気は互いに様々な形で影響を及ぼしあっている。例えば、二酸化炭素や水蒸気、熱の交換による大気と森林の間の相互作用、気温や降水の変動が植物の成長や植生に与える影響などが挙げられる。また熱帯域における大気変動は、対流活動による潜熱放出という形で地球規模の大気大循環と密接に関係している。よって熱帯域での森林、特に今後増加すると思われる大規模造林地における大気環境の変動特性を理解することは、自然環境の変動と調和した森林資源の持続的管理と活用、及び地球規模の大気変動を理解する上で重要である。

京都大学生存圏研究所では、2005年から現在まで熱帯域の大規模造林地における大気環境の把握を目的とした気象観測を行ってきた。対象地域はインドネシア南スマトラにおいて Musi Hutan Persada 社が経営、管理しているアカシアマンガウム大規模造林地である。総面積約 19 万ヘクタールの広大な造林地に計 8 箇所の気象観測点が設けられている。図 1 に気象観測地点の分布と周辺の地形を示す。

現在、全 8 地点において転倒ます型雨量計による降水観測が行われている。Acacia Center、Air Kemang、Tanjung Lontar の 3 地点では自動気象観測装置が設置され、雨量に加えて気温、湿度、日射の観測が行われている。Subanjeriji では京都大学農学部太田教授らによる気象観測が継続的に行われている。

本稿では、現段階において比較的継続してデータの蓄積がある雨量データを用いて、アカシアマン

* 2008 年 6 月 5 日作成

** 〒606-8501 京都市左京区吉田下阿達町 46 京都大学東南アジア研究所

E-mail: yyamane@s06.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

*** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所大気圏環境情報分野

E-mail: shiotani@rish.kyoto-u.ac.jp

**** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所流域災害研究センター流域圏観測研究領域

E-mail: hayashi@z06dpriswel.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

***** Jl. Residen H. Abdul Rozak No. 99 Palembang 30114, Sumatera Selatan INDONESIA

E-mail: wibiarimurti@yahoo.co.id

ギウム大規模造林地における降水特性について調べた結果を報告する。

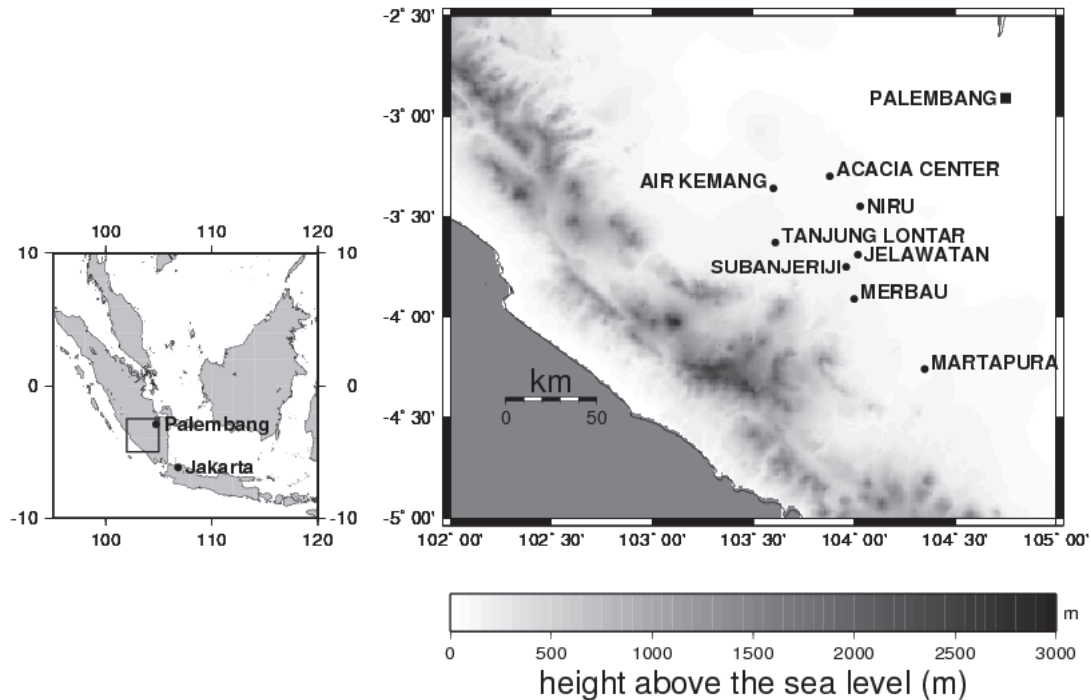


図 1：気象観測地点の分布と周辺の地形。左図はインドネシアを含む広域の地図。左図中の造林地を含む四角領域を拡大したのが右図で、●は気象観測点を示している。

2. データと方法

降水の観測は転倒ます型雨量計を用いて行われている。転倒ます型雨量計は、ある一定量の降水（本気象観測で使用している雨量計の場合 0.5mm、ただし Subanjeriji の雨量計は 0.2mm）を観測するとパルスを一発発する仕組みになっており、このパルスの回数から降水量を求める。図 2 に Acacia Center において実際に設置されている転倒ます型雨量計の写真を示す。

本研究ではまず、降水量の 10 分値データを作成した。自動気象観測装置が設置されている Acacia Center、Air Kemang、Tanjung Lontar、Subanjeriji では 10 分ごとに記憶装置へのデータの記録が行われているので、収録されているデータがそのまま 10 分値になっている。その他の転倒ます型雨量計による降水観測のみが行われている地点では、降水量が 0.5mm に達するごとにその時の時刻が記録される。このようなデータからは、0.5mm の降水が記録された時刻に 0.5mm の降水があったとして 10 分値データを作成した。

10 分値データから、1 時間降水量、日降水量、月降水量、そして年降水量を気象庁が採用している気象観測統計の基準¹⁾に基づいて算出した。1 時間降水量は、毎正時の前 1 時間において 10 分値データの欠測がない場合に算出した。日降水量は 1 日のうち 1 時間降水



図 2：Acacia Center に設置されている転倒ます型雨量計

量のデータが 20 個以上ある場合に算出した。月降水量は日降水量データの個数が 1 ヶ月の間に存在すべき個数（例えば 4 月ならば 30 個）の 80% 以上の場合に算出した。年降水量は日降水量データの個数が 1 年間に存在すべき個数（365 個、閏年は 366 個）の 80% 以上の場合に算出した。1 時間降水量、日降水量、月降水量、年降水量のいずれについても基準を満たさない場合はデータなしとした。

本研究では多くの観測点で比較的継続してデータが取得された 2008 年を対象期間として解析を行った。ただし Subanjeriji におけるこの年データは欠測が比較的多く、上述の算定基準に基づく統計値の算出が困難であったため本解析では含めないこととした。

3. 結果

3.1 降水の季節変化

図 3 (a) に Acacia Center における月降水量の季節変化（2008 年）を示す。スマトラ島周辺地域では 3 月から 5 月が小雨季、11 月から 1 月が大雨季と分類されており、それ以外の月は全く降水がないわけではないが乾季とされている²⁾。図 3 (a) から Acacia Center においては大雨季の 12 月における降水量が最も多いことがわかる。また大雨季と小雨季それぞれにおいて 12 月と 4 月の 2 つのピークが見られる。その他の地点においても大雨季の 12 月または 1 月の月降水量が年間を通して最も多い。また大雨季と小雨季にそれぞれ 2 つのピークがあり、大雨季のピークは 12 月か 1 月、小雨季のピークは 4 月か 3 月に見られる。ただし林地の最も南側に位置する Martapura では大雨季のピークは 1 月に見られるが、小雨季の 4 月の降水量よりも少ない（図 3 (b)）。これらの結果は、スマトラ島の赤道付近における降水の極大は 9 月から 1 月と 4 月から 5 月の 2 度見られることを示した浜田ほか（2002）³⁾の結果とも一致している。

さらに図 3 (a) を見ると、大雨季に入る前の 10 月に雨量の増加が見られる。このような大雨季に入る前の雨量の増加は他の多くの地点でも見られたが、Martapura ではそのような大雨季前の雨量の増加は見られない（図 3 (b)）。

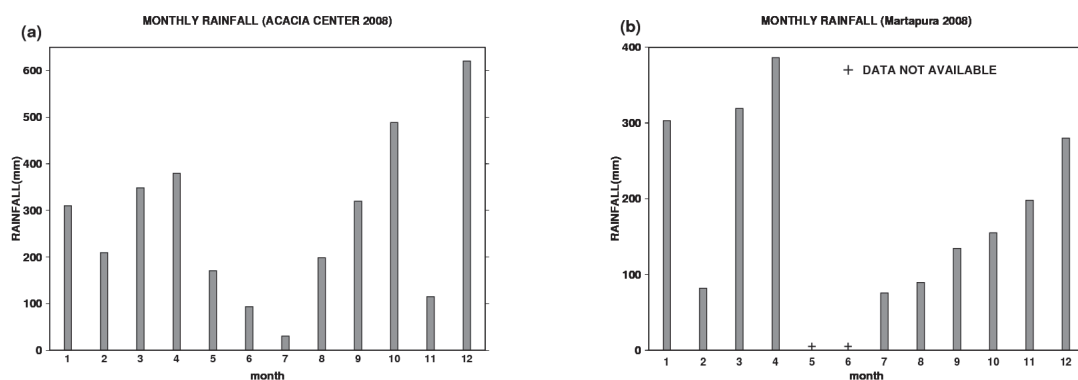


図 3 : (a) Acacia Center における月降水量の季節変化 (b) Martapura における月降水量の季節変化

3.2 降水の日変化

図 4 に Acacia Center における月ごとの平均 1 時間降水量の時間変化を示す。夕方から深夜にかけての降水が多く見られ、日中の降水は少ない。ただし大雨季に入る前の 9 月及び 10 月には午後の早い時間帯での降水が比較的多く、大雨季に入るにつれて夕方から深夜にかけての降水が多くなる。同じような傾向は他の地点でも見られた。スマトラ島の西海岸に沿って延びる山脈（図 1）の海側で午後が発生した対流システムが東進し、夕方から深夜にかけて林地を含むスマトラ島南部で発達すること

が報告されており、⁴⁾、⁵⁾ 林地における降水の日変化はこのような対流システムの日変化と密接に関係しているものと思われる。ただし、Mori et al.⁴⁾及びSakurai et al.⁵⁾における解析は11月のみを対象としたものであるため、雨季の他の月や午後の早い時間帯に降水が見られる9月や10月も含めたスマトラ島周辺の対流システムの日変化と林地における降水の日変化との関連について今後より詳細に調べる必要がある。

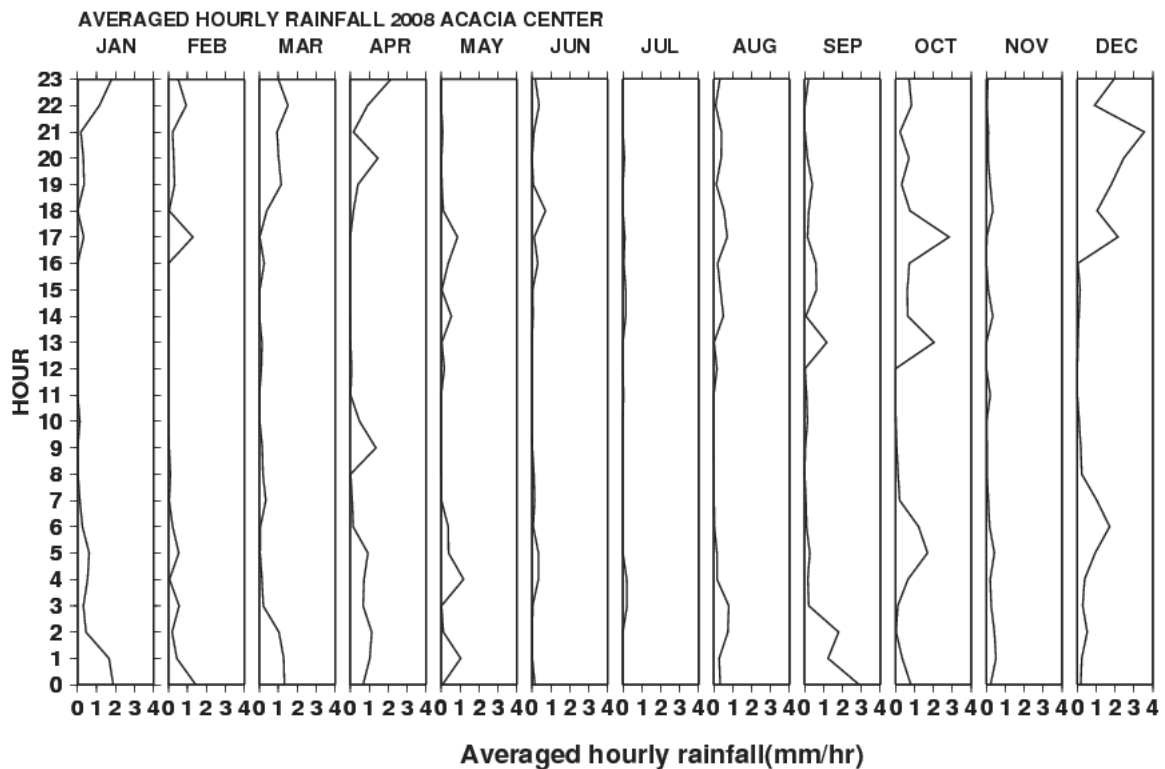


図4：Acacia Centerにおける月ごとの平均1時間降水量の時間変化（2008年）

3.3 降水の地域性

図5に2008年の年降水量分布を示す。Merbauについてはデータの欠測のため年降水量が算出できなかった。図5から林地の南側に比べて北側でより年降水量が多いことがわかる。最も年降水量が多かったのはAcacia Center (3283mm)であった。各地点の年降水量を表1に示す。

図6は、全観測点で合計した20mm/hr以上及び20mm/hr未満の1時間降水量（降水強度）の回数のうち各地点が占める回数の割合の分布を示したものである。横軸の右側ほど林地の南側の観測点を示している。これを見ると、20mm/hr以上の降水強度の占める割合の分布は20mm/hr未満のそれと比べて南側と北側の差が大きい。これは林地の北側ほど降水強度がより強い雨の占める割合が大きい傾向を示している。このような降水強度の南北差を議論するに当たって、20mm/hr以上及び20mm/hr未満の降水強度の頻度を地点毎に求めて比較することも考えられる。この場合母数（1時間雨量0.5mm以上の雨の回数）がそれぞれ違う各観測点の頻度を比較することになる。実際には観測点毎で母数にそれほど大きな差はないが、より適切な議論を行うため本解析では上述の解析を行った。

このように年間降水量と降水強度は北側ほど大きく、林地における雨の降り方に顕著な地域性が見られる。

4. 結論

インドネシア南スマトラにおけるアカシアマンギウム大規模造林地における降水特性を明らかにすることを目的として 2008 年の雨量計観測データを用いた解析を行った。結果は以下の通りである：

- ・ 多くの地点では大雨季（11 月から 1 月）の 12 月か 1 月の月降水量が一年を通して最も多い
- ・ 小雨季と大雨季にそれぞれ月降水量のピークがある
- ・ 大雨季に入る前の 9 月または 10 月に月降水量の増加が見られる。ただし林地の最も南側に位置する Martapura ではこのような大雨季前の月降水量の増加は見られない
- ・ 雨季に入る前の 10 月には午後の早い時間帯での降水が見られ、雨季に入ると夕方から深夜にかけての降水が多く見られるようになる
- ・ 年降水量と降水強度は林地の北側ほど大きい

本研究の結果は、降水変動が林地の森林環境に与える影響の評価や、持続的かつ効率的な林地の維持管理と活用にとって重要かつ基礎的な知見となる。今後は、本解析で見られた降水特性が他の年においてどの程度見られるのか、年々の変動があるのかを調べる必要がある。これらのことを明らかにするためには気象観測を今後も安定的に継続し、さらにデータを蓄積していくことが必要不可欠である。

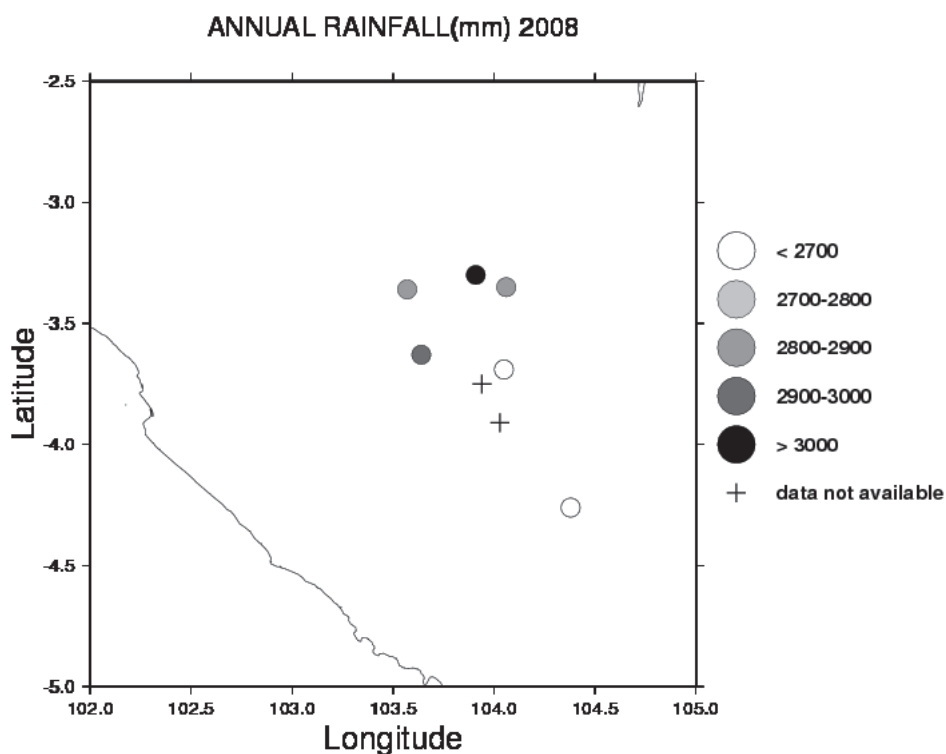


図 5：年降水量の分布（2008 年）

表 1：各観測点における年降水量（2008 年）

観測点	年降水量 (mm)
Acacia Center	3283

Tanjung Lontar	2926.5
Air Kemang	2849
Niru	2817
Martapura	2022.5
Jelawatan	2008

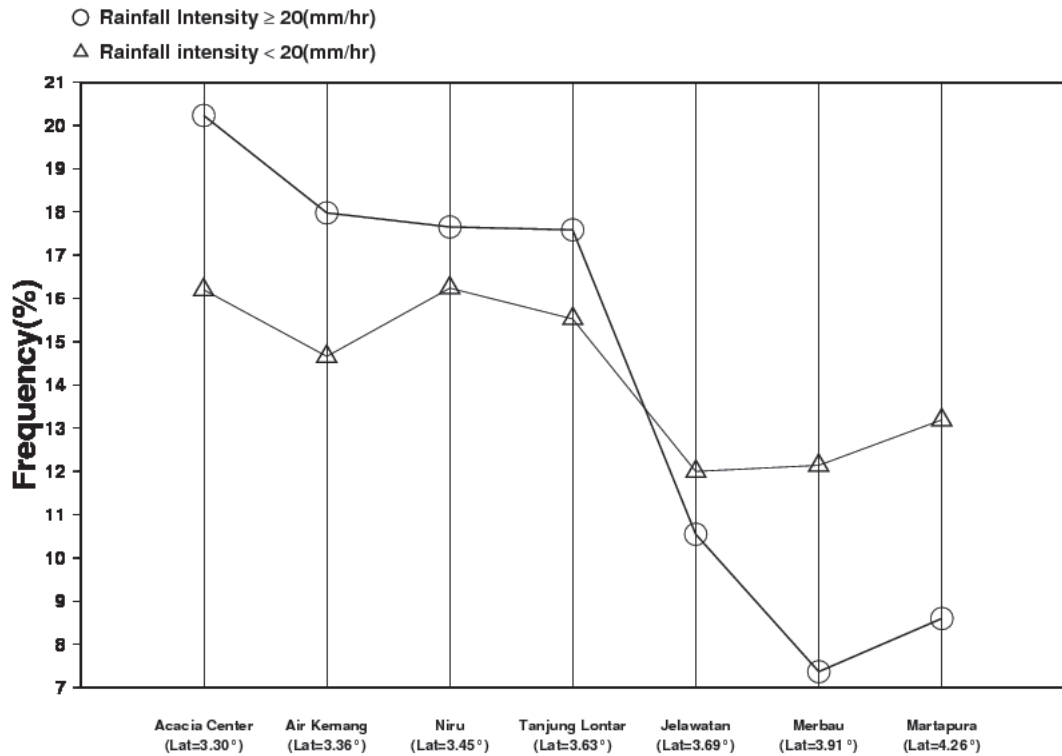


図 6：全観測点で合計した 20mm/hr 以上及び 20mm/hr 未満の 1 時間降水量（降水強度）の回数のうち各地点が占める回数の割合の分布

参考文献

- 1) 気象庁，気象観測統計の解説，気象庁，126pp.，2005.
- 2) 玉置 真也，CPEA-II 期間における西スマトラ州の局地循環と対流活動に伴う日変化，京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学分野修士論文，42pp.，2007.
- 3) 浜田 純一，山中 大学，Tien Sribimawati，インドネシアにおける雨季の地理・経年変化，気象研究ノート，第202号，243-270，2002.
- 4) Mori, S., J.-I. Hamada, Y. I. Tauhid, M. D. Yamanaka, N. Okamoto, F. Murata, N. Sakurai, H. Hashiguchi, and T. Sribimawati, Mon. Wea. Rev., **132**, 2021-2039, 2004.
- 5) Sakurai, N., F. Murata, M. D. Yamanaka, S. Mori, J. Hamada, H. Hashiguchi, Y. I. Tauhid, and T. Sribimawati, Diurnal Cycle of Cloud System Migration over South Island, J. Meteor. Soc. Japan, **83**, 835- 850, 2005.

MU レーダー全国・国際共同利用

1. 共同利用施設および活動の概要

滋賀県甲賀市信楽町に位置し1982年に設置された共同利用施設であり、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た全国共同利用を実施してきた。現在では、下記に示すように充実した観測設備が設置され、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の総合観測・研究拠点として、国内外に知られている。2004年に導入したMUレーダー観測強化システムによりレーダーの性能は大きく向上した。MUレーダーをはじめとする多くの設備を駆使した大気観測と、新しい観測機器等を輩出する実験開発拠点としての発展を目指している。

2. 専門委員会の構成および開催状況

2.1. 委員

津田敏隆(委員長、京大 RISH) 橋本弘蔵(京大 RISH) 塩谷雅人(京大 RISH)
山本衛(京大 RISH) 中村卓司(京大 RISH) 橋口浩之(京大 RISH)
吉村剛(京大 RISH) 山本真之(京大 RISH) 古本淳一(京大 RISH)
佐藤亨(京大情報) 家森俊彦(京大理) 岡野章一(東北大)
丸山隆(通総研) 高橋正明(東大 CCSR) 藤吉康志(北大低温研)
塩川和夫(名大 STEL) 山中大学(JAMSTEC) 廣岡俊彦(九大)
国際委員(アドバイザー) Robert Palmer(米, オクラホマ大), A.K. Patra(インド, NARL)

2.2. 開催状況

平成 20 年 9 月 10 日

主な議題：平成 20 年度後期課題の採択と MU レーダー観測スケジュール

平成 20 年 3 月 12 日

主な議題：平成 21 年度前期課題の採択と MU レーダー観測スケジュール

3. 本年度の共同利用実績(利用課題数と延べ日数)

期間	MU レーダー観測共同利用	観測時間
前期(4-9月)	29 課題、154 名	1576 時間
後期(10-3月)	30 課題、156 名	1432 時間

4. 共同利用に供する設備

MU レーダー ラジオゾンデ受信機 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 周波降雨レーダー 2 周波 GPS 受信機 MU レー
ダー用 RASS 装置(*) 可搬型 L バンド下部対流圏レーダー(*) レイリー・ラマンライダー
(*) 下部熱圏プロファイラレーダー(*) 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)

その他の観測装置

超高層大気イメージングシステム(OMTI)(名大 STE 研)、ナトリウムライダー(信州大)、
地磁気観測装置(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)

5. 特記事項

平成 20 年度前期公募分より総観測時間の約 2/3 におよぶ標準観測モードによる観測（大気圏標準観測、電離圏標準観測）の割り当てを見直し、これまでよりも長時間の観測を柔軟に割り当てて、MU レーダーの新システム（超多チャンネルデジタル受信システム）を有効利用した研究を進展させることとした。平成 20 年度には、前後期にそれぞれ 1 件の長期間観測を割り当てた。

6. 共同利用観測の紹介

6.1 梅雨期の MU レーダー特別観測

梅雨季に現れる梅雨前線は、低気圧に伴う複数の雲システムの一続きの列構造として認められる。このような前線帯内部の低気圧の発生・発達過程やそれに伴う対流システムの微細構造を明らかにするため、2008(平成20)年6月23日から7月11日にMUレーダーによる対流圏特別観測が行われた。同期間には、同サイトでX帯ドップラーレーダー(XDR)による降雨観測が実施された。この年の近畿地方は7月5日に梅雨明けしており、長期観測によって梅雨から夏への季節進行に伴うデータを取得できた。

梅雨期間中には、MUレーダー観測(緯度34.85°N)によって、下層では背の低い前線帯低気圧の風速変化を、中層・上層では背の高い高緯度総観規模低気圧の風速変化を捉えることができた。一方、梅雨明け後の7月8日には、寒気に伴う気圧の谷の影響により、2時間の間に雨量50mmを超える豪雨が観測された。この時、XDRは多方向での距離・鉛直断面観測によって、MUレーダーに接近する降水雲の鉛直断面を詳しく観測することに成功した。現在、XDRデータにセクターVAD(Velocity Azimuth Display)法を適用することで降水雲内の風向・風速推定を行い、MUレーダー観測の鉛直データとの比較が行なわれており、豪雨をもたらした降水雲の発生・持続機構について詳しい調査が進んでいる。

6.2 周波数領域干渉計を用いた RASS 観測による気温微細構造の観測

RASS(Radio Acoustic Sounding System)は、音波と電波を組み合わせることで気温を計測するレーダー観測技術である。地上から音波を放射し上空に形成される音波面に対して地上のレーダーから電波を照射する。音波面で散乱された電波を地上で受信しそのドップラー周波数遷移から音速を導出する。さらに音速が気温に依存することから気温の高度構造を得るものである。RASS は、従来、一般的であった気球観測と比べて数分間隔という極めて高い時間分解能で気温を測定可能で、雨滴や雲がある条件の下でも 0.5K という気球観測に匹敵する高精度で気温を測定できる利点がある。

近年、複数のレーダー中心周波数を用いて鉛直分解能を向上させる周波数領域干渉計映像法(FII)が近年開発されている。従来 FII は乱流エコー強度の微細構造観測を対象として行われてきたが、FII を RASS 観測に適用する(RASS-FII)ことで鉛直分解能を向上させる研究が進められている。MU レーダーを用いた観測結果では従来の 150m から約 50m まで鉛直分解能を向上させることに成功した。

電波科学計算機実験全国国際共同利用専門委員会

1. 共同利用施設および活動の概要

宇宙プラズマ、超高層・中層大気中の波動現象および宇宙電磁環境の計算機実験による研究を推進させるために、平成4年度および10年度に京都大学電波科学計算機実験装置(KDK)、先端電波科学計算機実験装置(A-KDK)をそれぞれ導入した。当研究所では、上の研究分野に加え、広く生存圏科学全般にわたり、これらの専用装置を用いて全国共同利用を行ってきた。特に、現有の先端電波科学計算機実験装置(A-KDK)は、スーパーコンピュータ(128CPU)上に500GBの共有メモリ空間と約10TBのディスクスペースを装備しており、柔軟な計算機システム運用によって大規模計算を長時間実行する環境を提供し、宇宙圏を中心とした生存圏科学において、従来の小規模な計算機実験では知り得なかった新しい知見を得ることに貢献している。AKDKのレンタル更新に際して、1ノードあたり128CPU、1TB共有メモリ型マシンを2.5ノード分に相当する新AKDKを平成21年1月から京都大学学術情報メディアセンターに設置することによりマシン統合を行い、利用者管理や設備メンテナンスの効率化を図っている。

2. 専門委員会の構成 および開催状況

白井英之(委員長、京大 RISH) 橋本弘蔵(京大 RISH) 津田敏隆(京大 RISH)
大村善治(京大 RISH) 山本衛(京大 RISH) 小嶋浩嗣(京大 RISH)
橋口浩之(京大 RISH) 田中文男(京大 RISH)
町田忍(京大 理学研究科) 佐藤亨(京大 情報学研究科) 石岡圭一(京大 理学研究科)
荻野竜樹(名大 STE 研) 三浦彰(東大) 鵜飼正行(愛媛大) 篠原育(JAXA)
小野高幸(東北大) 松清修一(九州大)

委員会開催状況

平成21年3月17日

主な議題：平成21年度電波科学計算機実験装置利用申請課題の審査
内規修正の審議等

3. 本年度(平成20年度)の共同利用実績(利用課題数と延べ日数)

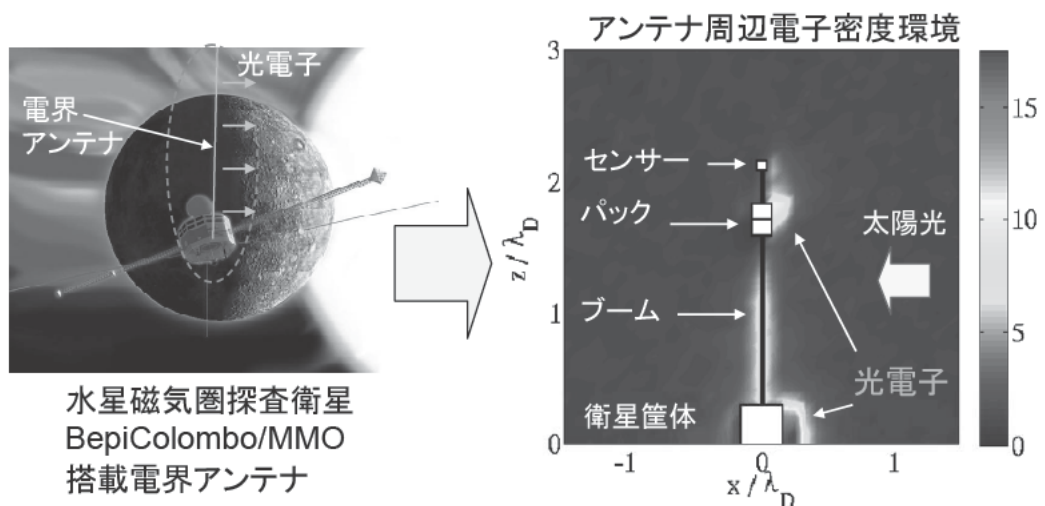
期間	応募	随時	承認	利用	延べ日数
平成20年度	32件	0件	32件	32件	約350日

4. 特記事項

- 電波科学計算機実験装置のホームページ
➤ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/kdk/index.html>
- 研究課題の成果報告および関連研究者の情報交換・交流の場として、毎年、年度末に「KDK シン

ポジウム」を開催している。(平成 20 年度は 3 月 16 日, 17 日に第 121 回生存圏シンポジウムとして開催)

- 毎年「KDK 研究成果報告書」を作成し、関連研究者に配布。
- 特徴のある共同研究課題例
 - 宇宙飛翔体プラズマ電磁環境における波動観測アンテナ特性に関する計算機実験 (京大大学生存圏研究所)
 - ◇ 科学衛星によるプラズマ波動観測データの正確な較正において、本質的に重要な電界アンテナの宇宙プラズマ中特性を大規模粒子計算機実験により詳細に解析。次世代科学衛星用アンテナに搭載されるガード電極機構が光電子分布に与える影響を明らかにする (下図) と同時に、プラズマ波動受信時のアンテナの振る舞いを直接的に再現する数値解析手法を確立した、世界初の成果。[Miyake et al, AIP Conference Proceedings, 2008]



京都大学 電波科学計算機実験装置(KDK) 全国共同利用



京都大学 生存圏研究所 (RISH)

京都大学電波科学計算機実験 (KDK) 共同利用

- ・宇宙プラズマ、超高層大気中の電波現象および電波科学の計算機実験による研究の推進。
- ・全国共同利用設備として平成5年度に電波科学計算機実験装置(KDK)を導入。
- ・毎年、全国から研究課題の公募、電波科学計算機実験専門委員会にて審査。
- ・年間約35件の研究課題。

平成20年度 富士通製SPARC Enterprise M9000
電波科学計算機実験 AKDKレンタル更新(2.5ノード、主記憶2.5TB、スカラ一並列)
共同利用の発展

平成15年度 AKDKレンタル更新

平成10年度 富士通製Primepower2500
先端電波科学計算機実験装置(AKDK)導入
(主記憶512GB(共有型)、スカラ一並列)

平成5年度 NEC社製HSP(主記憶32GB、ベクトルプロセッサ)

京都大学電波科学計算機実験装置(KDK)導入
「電波科学計算機実験共同利用」に改称

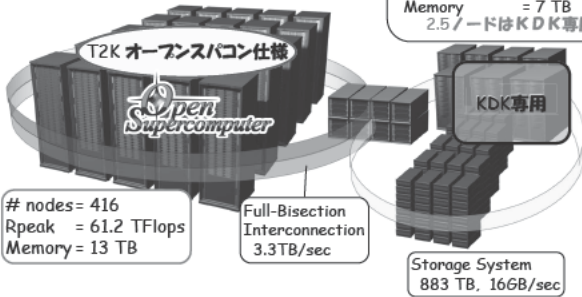
コンベックス社製C3820
(主記憶2GB、ベクトルプロセッサ)

昭和61年度「電算機共同利用」開始

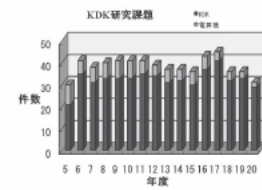
富士通ミニコンピュータS3500

- ・H20年度1月にAKDKレンタル更新
- ・設置場所は京都大学学術情報メディアセンター
- ・富士通SPARC Enterprise M9000, 2.5ノード (2.5TBメモリ)

Fat-node Subsystem
(SPARC Enterprise M9000)
nodes = 7
Cores = 128 x 7 = 896
Rpeak = 8.96 TFlops
Memory = 7 TB
2.5ノードはKDK専用

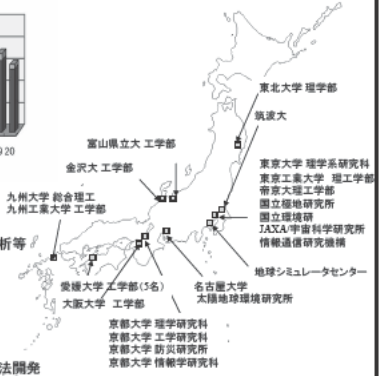


KDK共同利用ユーザー



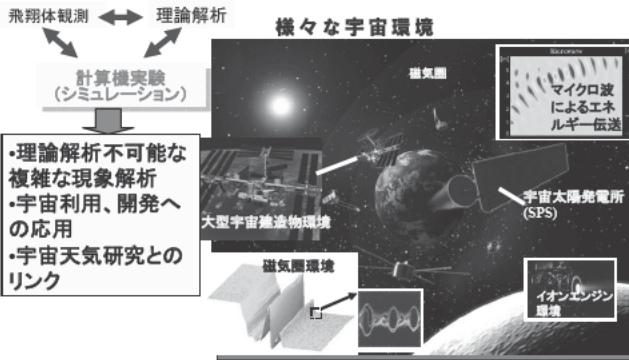
研究課題分野

- ・宇宙プラズマ電磁環境解析
- 波動粒子相互作用、プラズマ波動解析等
- ・宇宙機-プラズマ相互作用解析
- 衛星帯電、非化学推進等)
- ・中性大気波動力学解析
- ・電波応用、電波科学一般
- ・その他の生存圏関連の計算機実験
- ・大規模計算機実験に有効な数値解析手法開発



先端電波科学計算機実験装置(A-KDK)による研究例

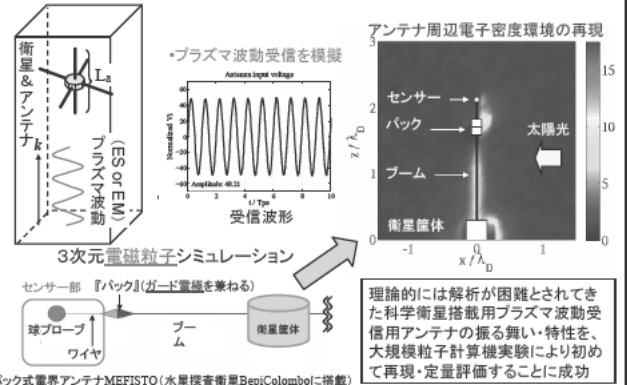
計算機実験による地球周辺の電磁環境(宇宙圏)の解析



- ・理論解析不可能な複雑な現象解析
- ・宇宙利用、開発への応用
- ・宇宙天気研究とのリンク

20年度の代表的な研究成果例

「宇宙飛行体プラズマ電磁環境における波動観測アンテナ特性に関する計算機実験」
(研究代表者:三宅洋平(京都大学生存圏研究所))



バック式電界アンテナMEFISTO(水星探査衛星BepiColomboに搭載)

理論的には解析が困難とされてきた科学衛星搭載用プラズマ波動受信アンテナの振る舞い特性を、大規模粒子計算機実験により初めて再現・定量評価することに成功

赤道大気レーダー全国・国際共同利用

1. 共同利用施設および活動の概要

赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)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13～18年度に実施された、赤道大気の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」における中核設備として利用され、その後も長期間連続観測を続けている。平成17年度から全国・国際共同利用を開始した。研究課題数は、22件(平成17年度)、27件(平成18年度)、33件(平成19年度)、34件(平成20年度)、30件(平成21年度)と順調に推移しており、活発な研究活動が実施されている。

2. 専門委員会の構成および開催状況

山本衛(委員長、京大 RISH) 津田敏隆(京大 RISH) 矢野浩之(京大 RISH)
橋口浩之(京大 RISH) 山本真之(京大 RISH) 佐藤亨(京大情報)
長澤親生(首都大) 大塚雄一(名大 STE 研) 山中大学(海洋研究開発機構)
古津年章(島根大)
国際委員(アドバイザー) Dr. Bambang Tejasukmana (インドネシア LAPAN 次官)

平成21年3月12日に国際委員の出席を得て専門委員会を開催し、平成21年度申請課題の選考を行った。

3. 共同利用実績

期間	応募	随時	承認	利用	延べ日数
平成20年度	34件	0件	34件	34件	305日

海外からの共同利用について、17～18年度はインドネシア国内からの申請のみに制限して4件ずつで開始したが、19年度からはその制限をなくし9件の国際共同利用が実施された。平成19年度から赤道大気レーダーシンポジウムを開催しており、平成20年度には9月25～26日に第二回を開催した。共同利用により得られた研究成果について30件の講演発表が行われ、活発に議論された。

4. 特記事項

○公開シンポジウムの集録

平成19年9月20～21日に、東京国際交流館・プラザ平成において公開シンポジウム「地球環境の

心臓—赤道大気の鼓動を聴く—を開催し、赤道大気レーダーを中心とする科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合」からの成果を広く一般の方々に公開した。平成 20 年度においては、文部科学省科学研究費補助金（研究成果公開促進費）「研究成果公開発表(A)」を得て、この公開シンポジウムの集録を刊行した。

「地球環境の心臓—赤道大気の鼓動を聴く」

編集：科学研究費補助金（特定領域研究）「赤道大気上下結合」領域代表：深尾昌一郎

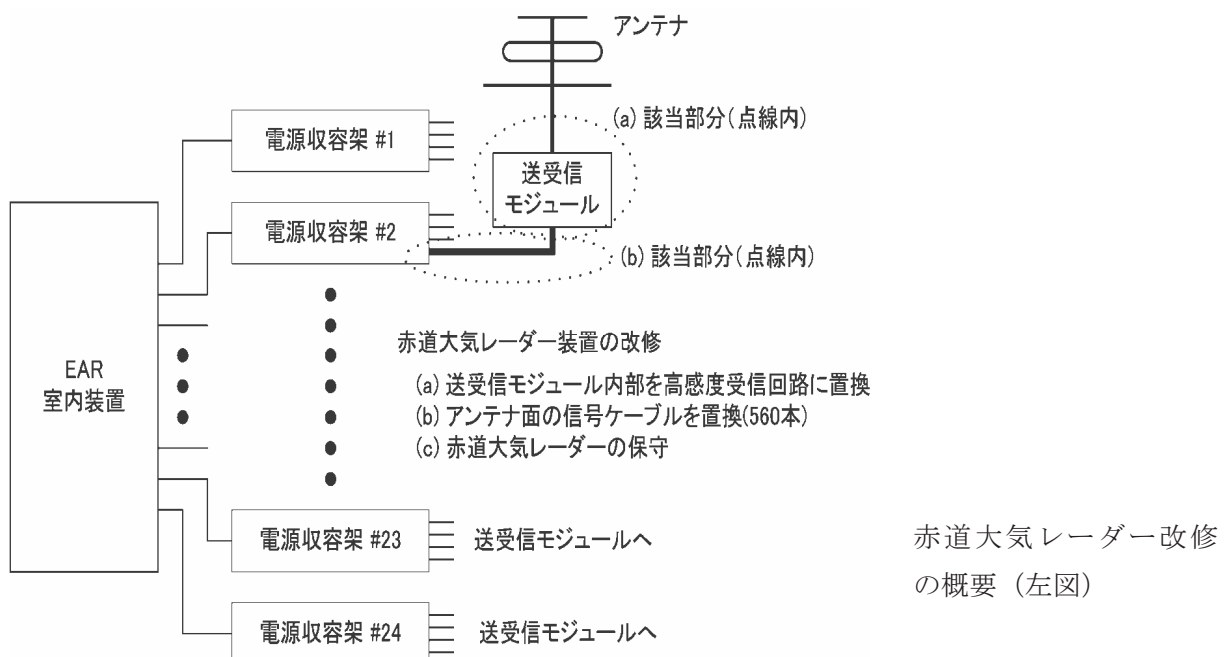
発行所：株式会社 クバプロ

平成 21 年 2 月 26 日 第 1 版発行

ISBN978-4-87805-098-5

○赤道大気レーダーの改修

平成 20 年度の全学経費（全学協力経費 設備整備）を得て、赤道大気レーダーの改修を実施した。具体的には、全モジュールの回路の一部を高感度回路に置き換え、同時にアンテナ面の信号ケーブル（33m×560 本）を置換することによって、観測感度を向上することを目指し、実施した。本計画は、赤道大気レーダーの感度を飛躍的に向上させるものであり、「高感度受信部」と「低損失信号伝送部」から構成される。高感度受信部は、EAR の各送受信モジュールの内部に、既存の受信回路の一部を置き換える形で設置される。また回路構成に工夫を凝らすことによって、落雷からの電氣的ショックに対する耐性を飛躍的に向上する。一方、低損失信号伝送部はアンテナ面の信号ケーブルを置換するもので、ネズミ食害の防止を目的として導入することとされた。本改修は平成 21 年 3 月末日を期限として実施され、無事予定通りに終了した。改修後の EAR は、受信系のゲイン 27dB 以上、ノイズフィギュア 5dB 以下、サージ耐電圧 1kV 以上といった特性が確認されており、以前は観測が難しかった高度十数 km の領域のデータ取得率が向上するなどの成果を得ている。



METLAB 全国国際共同利用専門委員会

1. 共同利用施設および活動の概要

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、電波科学実験一般及び生存圏科学のための電波の新しい応用を目的とした研究のための共同利用に供されている。

2. 専門委員会の構成 および開催状況

橋本 弘藏(委員長, 京大 RISH) 臼井 英之(京大 RISH)
 佐々木 進(JAXA) 川崎 繁男(JAXA) 北野 正雄(京大院工)
 小嶋 浩嗣(京大 RISH) 佐藤 亨(京大院情報) 篠原 真毅(京大 RISH)
 高野 忠(JAXA) 多氣 昌生(都立大) 野木 茂次(岡山大)
 橋口 浩之(京大 RISH) 藤野 義之(NICT) 宮坂 寿郎(京大院農)
 三谷 友彦(京大 RISH) 山本 衛(京大 RISH) 渡辺 隆司(京大 RISH)
 大平 孝 (豊橋技科大)
 国際委員(アドバイザー): Tatsuo Itoh (米 UCLA)

本年度は3月16日に専門委員会を開催した。

3. 本年度の共同利用実績(利用課題数と延べ日数)

期間	応募	随時	承認	利用	延べ日数
平成20年度	10件	4件	14件	14件	212日

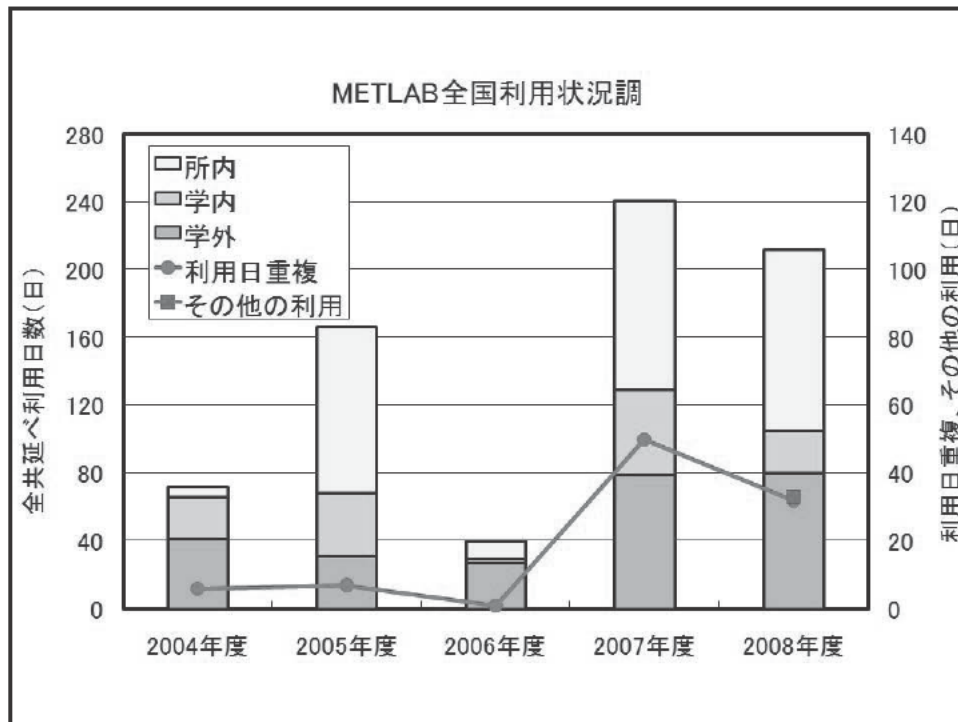
4. 平成20年度課題一覧

研究分野	代表者	所属	研究課題
C. 電波科学一般	松永真由美	愛媛大学大学院 理工学研究科	あらゆる方向からの読み取りを可能にするRFID用アンテナの開発
C. 電波科学一般	須崎純一	地球環境学堂 資源循環学廊	マイクロ波散乱計を用いた水田の散乱計測とモデリング
A. マイクロ波送電	吉川昇	東北大学大学院環境科学研究科	宇宙太陽光発電マイクロ波伝送エネルギーの直接利用に関する基礎研究
C. 電波科学一般	小嶋浩嗣	京都大学生存圏研究所	宇宙圏電磁環境モニターセンサーノードの位置捕捉手法に関する研究
A. マイクロ波送電	橋本弘藏	京都大学生存圏研究所	マイクロ波を利用した到来方向推定に関する研究
A. マイクロ波送電	宮坂寿郎	京都大学大学院 農学研究科	マイクロ波送電技術を応用した農業機械の電動化
C. 電波科学一般	渡辺隆司	京都大学 生存圏研究所	木質バイオマス前処理用マイクロ波照射システムの高効率化に関する研究開発

C. 電波科学一般	竹野裕正	神戸大学大学院工学研究科	位相制御マイクロ波照射による複合材料の部位選択加熱法の研究
C. 電波科学一般	井上允	国立天文台スペースVLBI推進室	ASTRO-G/VSOP2 衛星フロントエンドシステムの開発・性能評価
A. マイクロ波送電	森雅裕	宇宙航空研究開発機構総合技術研究本部	マイクロ波地上エネルギー伝送実験システム
A. マイクロ波送電	米本 浩一	九州工業大学	マイクロ波エネルギー伝送駆動による火星飛行探査機の研究
C. 電波科学一般	大平 孝	豊橋技術科学大学情報工学系	エスパアンテナの測定
C. 電波科学一般	辻 正哲	東京理科大学 理工学部	マイクロ波を利用したコンクリート構造物中の鉄筋位置および欠陥位置推定方法に関する研究
C. 電波科学一般	篠田 健司	宇宙航空研究開発機構研究開発本部	衛星搭載超小型アンテナの開発

5. 特記事項

- 研究トピックス：「マイクロ波を用いた電気自動車無線給電システムの高効率化」を紹介
- 本年度も関東の大学・研究機関からの利用が増えたため、旅費がかなり増えた。しかし、本来的な用途である。
- 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 SPS 時限研究専門委員会の共催で開催している。本年は 3 月 13 日と 16 日の午後に開催した。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>。



METLAB の08-9年度共同利用例 電波天文用多モードホーンの開発

- 現在、製作が進められているASTRO-G/VSOP2衛星搭載の電波望遠鏡用一次放射器として、多モードホーンを提案し、開発を行った。
- この衛星は、地上の電波望遠鏡とともに干渉計を構成するスペースVLBI計画の二代目の衛星である。天体の偏波の観測を行うので、一次放射器には低交差偏波であること、体積効率が良いことが求められていた。設計した多モードホーンは使用帯域において、十分に交差偏波が低く、コルゲートホーンよりも体積効率が良く、製作が容易である。
- 従来ホーンより軸長が短縮できているので、国立天文台VERAプロジェクトの20m電波望遠鏡の6.7GHz帯向けにも多モードホーンを開発した。これらの放射パターンの測定結果はシミュレーションと良く一致している。昨年の結果をふまえ、今年はアンテナ開口効率を高めるために高次モード発生部の改良を行い、比較対象としたコルゲートホーンに遜色ない性能を得た。
- VSOP-2衛星の8GHz帯、22GHz帯、43GHz帯、および、VERA他用6.7GHz帯での多モードホーンの開発、ビームの改良を行い、満足できる性能を得た。

左図:METLAB電波暗室での遠方界測定

下図:43GHz帯多モードホーンの測定結果(—)とシミュレーション(x)の比較例

氏原秀樹、武士侯健、井上允(国立天文台)、木村公洋、利川達也、小川英夫(大阪府立大学)春日隆(法政大)、坪井昌人(JAXA)、電波天文用多モードホーンの開発、信学技報、SPS2007-20、2008年3月
氏原秀樹、武士侯健、井上允(国立天文台)、木村公洋、黒岩宏一、海田正大、松本浩平、小川英夫(大阪府立大)春日隆(法政大)、坪井昌人(JAXA)、電波天文用多モードホーンの開発(その2)、SPS2008-22、2009年3月

居住圏劣化生物飼育棟/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

平成 17 年 6 月から別個に全国共同利用施設としての使用を開始した京都大学生存圏研究所居住圏劣化生物飼育棟（以下 DOL と略記）と生活・森林圏シミュレーションフィールド（以下 LSF と略）は、平成 20 年度から統合され、全国・国際共同利用施設として新たな一歩を踏み出すことになった。年度の過渡期での統合決定であったことから、共同利用研究申請は従前通り、DOL と LSF がそれぞれ公募し、申請課題を採択した。平成 20 年度に入り、両委員会が合体した。共同利用を開始以来、懸案であった国際共同利用を開始した。DOL は、木材及びそれに類する材料を加害する生物（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）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。一方、LSF は、鹿児島県日置市吹上町吹上浜国有林内に設置された約 28,000 平方メートルの野外試験地である。DOL/LSF は、木材や新規木質系材料の生物劣化抵抗性評価、防腐・防蟻法の開発、木質系材料の加害生物に関する生態調査などに関して、長年にわたって国内外の大学、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た。

1.1 共同利用に供する設備

京都大学生存圏研究所居住圏劣化生物飼育棟及び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）

1.2 共同利用の形態

- 平成 20 年度の共同利用については、当研究所ホームページに公募要領算および申請様式を掲載して募集を各年度の終了前に開始し、電子メールによる予備審査と委員会での専門委員による審査を経て採択研究課題を決定した。
- 国際共同研究に関しては、国際共同利用の目的と実験研究の可能性を諸外国の研究者に説明した上で平成 20 年度から国際共同利用施設として研究課題の公募を開始した。
- DOL/LSF 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した。

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、生活・森林圏における物質循環、地球大気情報

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、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：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、分子育種による高炭素固定樹木の性能評価

1.3 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。申請受付のため web site 開設、あるいは電子メールによる申請受け付けを実施した。
- 平成 20 年度の国際共同利用は、日本人研究者を代表とする共同研究に海外の研究者が研究協力者として参加することから始め、漸次、オープン化することにした。この決定に従って、平成 20 年度の公募には「国際」の種別を設けた。

- 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。
- 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で全委員に回議する。

2. 平成 20 年度の実績

平成 20 年度は DOL、LSF としてそれぞれ 12、16 件の公募があり、DOL/LSF として 28 研究課題を採択した。研究代表者所属・氏名と研究成果の概要を下表に示す。なお、研究成果の概要は、平成 21 年 2 月 26 日に開催された第 116 回生存圏シンポジウム「DOL/LSF に関する全国共同利用研究成果発表会」時に配布された冊子から要約したものである。

課題番号	研究課題	研究代表者 所属・氏名	関連ミ ッション	成果概要
20DOL-01	少数シロアリグループにおける階級分化とコロニー創生(国際新規)	京大 大学生存圏研究所・角田邦夫	①、④	少数グループ内での前兵蟻、兵蟻が出現するまでの日数はコロニー間及び実験開始時期によって異なるものの、長期間にわたる人工飼育でもイエシロアリが本来の生物のリズムを保持していた。
20DOL-02	「餌-シロアリ-腸内微生物叢」系を利用したバイオガス生産(新規)	筑波大学大学院生命環境科学研究科・青柳秀紀	②、①	イエシロアリとタカサゴシロアリに与える餌によって、シロアリの代謝や腸内微生物叢系が異なることを示し、バイオガス生産に適した餌を選択的に与えることで、効率的なバイオガス生産の可能性が示唆された。
20DOL-03	乾材シロアリによる木材の分解機構の解明と糖分解酵素の阻害剤を用いたシロアリ防除法の開発(継続)	京大 大学院農学研究科・東 順一	④	グルコノ-1,5-ラク톤を添加したホウ酸含有木粉を強制摂食させると、イエシロアリ後腸内に 5~10 μm の微生物の増殖が見られ、エネルギー獲得に寄与していることが示唆された。
20DOL-04	新規シロアリ誘引・定着因子の探索(新規)	京大 工学繊維大学院工学研究科・山岡亮平	④	スギ抽出液のヤマトシロアリ誘引効果は、分画後のスギ抽出液 30%、50%画分で顕著であり、炭素数 14~17 に相当する複数のピークと、炭素数 20~24 の複数のピークに該当する成分が含まれていた。
20DOL-05	木材の生物劣化の非破壊診断技術の開発(継続)	京大 大学院農学究科・奥村正悟	④	X線 CT 装置は、アメリカカンザイシロアリ食害材内部の食害痕の観察を可能にし、シロアリの食害量と木材の強度との関係解明に有用である。
20DOL-06	屋外用途におけるヒバ材の耐久性評価(新規)	秋田県立大学木材高度加工研究所・黄 元重	④	木橋の床板として長期間使用された青森県産ヒバ材と未使用ヒバ材(健全材)を強制腐朽及びシロアリ強制摂食試験した結果、野外で使用された部材の耐腐・耐犠牲性は健全材と比べて低くなることが示された。
20DOL-07	蟻害を受けた木質部材の残存耐力に関する実験的研究(継続)	京大 大学生存圏研究所・森拓郎	④	供試3樹種の内、ホワイトウッドだけが激しい蟻害を受けた。曲げ試験結果は見かけの密度と強度との間には正の相関があった。
20DOL-08	振動・音響的アプローチによるシロアリの嗜好・忌避挙動の解明(新規)	大分大学工学部・大鶴 徹	④	スギ材中で摂食活動中のイエシロアリから生じる振動・音響信号は、材長によって異なり、20 mm長で7200 Hz、160 mm長で1400 Hzであった。イエシロアリを入れた容器を2本のスギ材で挟み、片方の材に1400 Hzの信号を付与した場合、イエシロアリの摂食活性に変化が見られた。
20DOL-09	生物劣化による木材の強度補強方法の研究(継続)	工学院大学工学部・宮澤健二	④	蟻害材を木槌で打撃した場合の音波は、蟻害材中の孔道内での共鳴を反映して、動健全材と比べ急激に小さくなっており、健全材より減衰が大きかった。
20DOL-10	マレーシア産及び日本産シロアリに関する比較行動学的研究(国際新規)	京大 大学生存圏研究所・吉村剛	④	職蟻、兵蟻、ダンゴムシをすりつぶした物など飼育容器への投入などの攪乱操作によって、イエシロアリ摂食行動は程

				度の差はあるものの影響を受けた。
20DOL-11	廃食用油を用いたリサイクル型木材保存剤の開発(室内試験による防蟻性能の迅速推定評価)(継続)	富山県林業技術センター木材試験場・栗崎宏	④	廃食用油などの油脂類にはシロアリの食害を抑制する効果が認められるが、室内試験による抑制効果は、性能規準に達しておらず、使用方法を熟慮しない限り、防蟻手段として応用できない。
20DOL-12	木材腐朽菌の遺伝資源データベース構築(継続)	高知工科大学工学部・堀澤栄	②、①	DOL保有株の遺伝的解析による種の確認に引き続き、未同定株については、近縁種の株およびDBの情報を用いてクラスター解析を行った。研究結果は木材腐朽菌のデータベース構築に提供の予定である。

課題番号	研究課題	研究代表者 所属・氏名	関連ミ ッション	成果概要
20LSF-01	長期耐用化処理木材の非設置・非曝露条件下での耐久性(国際新規)	京大生存圏研究所・角田邦夫	④	試験開始1年後の平成20年10月30日の調査では、食害を確認できた試験体は皆無であった。試験期間を延長して経過を見守ることにした。
20LSF-02	環境に配慮した木材保存技術の開発(継続)	奈良県森林技術センター・伊藤貴文	④	グリオキザール樹脂によるエーテル化処理と無水マレイン酸による気相処理は明らかに蟻害抑制に有効であった。後者は、48カ月経過時点での結果から、JIS K 1571の防蟻性能基準に相当する耐蟻性能を付与できた。
20LSF-03	廃紙による地下シロアリ大量飼育による食料化に関する基礎研究(国際新規)	京大生存圏研究所・角田邦夫	②、①	シロアリが食害したものが少なく、試験期間の延長あるいは再試験を計画する必要がある。廃紙の種類によっては、シロアリ大量飼育に適さない物があつた。
20LSF-04	ねこ部材による床下環境の改善とその防蟻性能(継続)	工学院大学工学部・宮澤健二	④	ねこ部材の使用によって床組直下の上層空気の流れがシロアリの行動に影響した結果、土壌から上方への蟻道の構築があつたものの、上部構造木部には到達しなかつた。
20LSF-05	床下設置用防蟻板の野外性能評価(継続)	京大生存圏研究所・吉村剛	④	コントロール区及び防蟻東区において蟻道の拡大が認められたものの、試験体へのシロアリの登りは認められなかつた。引き続き観察を実施する。
20LSF-06	合成木材の野外耐久試験(継続)	山梨県森林総合研究所・小澤雅之	④	2008年10月30日の30ヶ月経過後の調査で食害が認められた素材は、ベイスギとスギであつた。合成木材では、蟻土の形成などが視認されたが、試験体への食害はなかつた。
20LSF-07	熱処理あるいはヒノキ精油塗布スギ材の耐久性(新規)	高知県立森林技術センター・松岡良昭	④	土台角の試験では、スギ赤心材無処理、スギ辺心材無処理、スギ辺心材熱処理が、杭試験ではスギ辺心材無処理が加害された。
20LSF-08	木材の生物劣化の非破壊診断技術の開発(継続)	京大大学院農学学科・奥村正悟	④	シロアリの生息が確認されたモデルハウス1棟について計測した。土台に有意レベルのAEが検出され、シロアリがモデル住宅部材まで食害が進行していた。
20LSF-09	ノンケミカルな調湿材および断熱材を用いた住宅床下の防蟻効果の検証(継続)	秋田県立大学木材高度加工研究所・栗本康司	④	2008年10月の調査で初めて壁面に蟻道が初めて認められたグラスウール基礎、スタイロフォーム基礎、物理的遮蔽を施していない基礎の上部駆体を解体したところ、イエシロアリによる部材の蟻害と床下内部への進入を確認した。シロアリの進入経路はいずれも外部の蟻道を経由したものであつた。
20LSF-10	亜熱帯産広葉樹の成分活用による環境共生型資材の開発(継続)	鹿児島県林業試験場・森田慎一	④	リュウキュウマツ無処理材への蟻害が最も激しく、スギ・ヒノキの無処理材が次いだ。薬剤処理したものは一部の試験体を除いて食害は認められなかつた。
20LSF-11	表面処理したエクステリアウッドの耐久性評価(継続)	独立行政法人森林総合研究所・木口実	④	暴露3年後の試験結果は、再塗装無し試験片では水性塗料を除いて変色が大きい事を示した。超音波伝達時間は暴露期

				間と共に増加する傾向を示し、腐朽などの劣化が進行していることを示唆した。
20LSF-12	蟻害を受けた木質部材の残存耐力に関する実験的研究(新規)	京都大学生存圏研究所・森 拓郎	④	設置した試験体を一旦シロアリが加害したが、微生物の生育によってシロアリの活動が全く見られない状態に陥った。シロアリ活性を求めて試験場所を移動した。
20LSF-13	加圧注入用薬剤および高耐久性樹種の長期耐久性試験(継続)	独立行政法人森林総合研究所・大村和香子	④	試験開始4年後の接地・暴露試験では、全加圧注入試験体及びイペ・ジャラは健全(であった。試験開始3年の非接地・非暴露試験体では、全て健全であった。
20LSF-14	廃食用油を用いたリサイクル型木材保存剤の開発(室内試験による防蟻性能の迅速推定評価)(継続)	富山県林業技術センター木材試験場・栗崎 宏	④	銅石鹼塗布処理試験材及び注入処理試験材は、蟻害を受けておらず、JIS K1571の野外防蟻性能基準(2年間食害なし)に適合することが確認された。
20LSF-15	新しい住宅断熱工法に対応した物理的防蟻材料の開発(継続)	東洋大学工学部・土屋喬雄	④	基礎外断熱メッシュ防蟻工法の長期防蟻性を7年間以上にわたって野外試験した結果、シロアリの侵入は皆無であり、良好な長期防蟻性を確認できた。
20LSF-16	オビスギ品種材のシロアリ抵抗性(継続)	宮崎大学農学部・雉子谷佳男	④	試験体設置3年後の調査では、オビスギ品種材の明確な食害痕は認められなかった。引き続き、調査を実施する。

3. 特記事項

- (1) 国際共同利用を開始し、5件を採択した。
- (2) 生活圏・森林圏シミュレーションフィールドの敷地面積が2.8 haに拡張された。
- (3) DOL/LSFで行われた研究成果を広く社会に公開するため、研究成果報告会を第116回生存圏シンポジウムとして平成21年2月26日に実施し、併せて成果報告集を出版した。
- (4) 内規を整備し、他の共同利用施設との整合性が図られた。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

平成20年度の採択件数は28件、その内17件は国内継続。国内新規は7件、国際新規4件であった。計画された研究は概ね順調に遂行され、全国共同利用の成果として評価できた。

生物機能を利用したエネルギー生産や食糧化が採択されており、それらの学術的意義について紹介する。

「餌-シロアリ-腸内微生物叢」系を活用したバイオガス生産に関する研究は、環境低負荷型のバイオガス生産システムの構築を目指した物である。研究の背景として、このままでは化石資源は枯渇し、現在のエネルギー供給は長くは続かないこと、バイオマスからのエネルギー創出には土地利用や食糧確保の問題派生していることなどが挙げられる。確かに、バイオマスからのバイオガス生産が注目されているが、製造上の問題や環境負荷など解決すべき課題は多い。常態下で木材を含むバイオマスを分解する能力を備え、代謝産物として水素やメタンを排出するシロアリの生物機能に着目した。餌を介したシロアリとその腸内微生物叢の複合生物系を「餌-シロアリ-腸内微生物叢」系として捉えている。エネルギー生産効率と生産に要する費用の問題は高いハードルではあるが、今後の研究の進展に期待したい。

日本の製紙産業は世界3位にランクされ、平成19年度の需要は31,700,000トン、廃紙量は19,000,000トン以上である。廃紙の多くが焼却や土中に埋められるなど、無駄になっている。増大する廃紙の有効利用として、廃紙によるシロアリの大量飼育は検討に値する研究テーマである。大量飼育されたシロアリを養殖魚類や家禽・家畜類の飼料、人間の食料としての利用することが目的である。既往研究では、廃紙の生物的处理にシロアリを利用できる可能性が示唆されてはいるが、シロアリの大量飼育に適する紙の種類に関する知見はない。そこで、様々な種類の廃紙に対するシロアリによる分解性を野外試験で評価し、シロアリ大量飼育の場合の餌としての可能性を探求すべきであろう。

木質材料実験棟全国国際共同利用専門委員会

1. 共同利用施設および活動の概要

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、木質構造物の構造要素の強度性能評価のための実大実験装置の他に、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・解析装置等が備えられている。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。

主たる設備と活動状況は以下の通り

- 1) 鋼製反力フレーム 500 kN 水平加力実験装置：試験体最大寸法：高さ 2.8 m、長さ 4.5 m、奥行き 1 m。PC 制御装置と最大ストローク 500 mm の静的正負加力用オイルジャッキを備えている。耐力壁、集成材門型ラーメンその他構造耐力要素の実大（部分）加力実験に供用されている。木質材料実験棟で最も稼働率の高い装置。
- 2) 1,000 kN 堅型サーボアクチュエーター試験機：試験体最大寸法は高さ 2.5 m、幅 0.8 m、奥行き 0.8 m 程度まで可能。動的、静的各種プログラム加力可能。集成材各種接合部の静的加力実験、動的実験、疲労実験、丸太や製材の実大曲げ実験、その他に供用されている。油圧サーボアクチュエーターであるので、電気代がかかる事と、比較的故障が多く、維持管理に経費がかかる。
- 3) X 線光電子分析装置 (ESCA)：試料の最表面 (5 nm) 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である。現在の所、主に、木質系炭素材料の表面分析に供用されている。
- 4) 木造エコ住宅 (律周舎)：平成 18 年 11 月に完成した自然素材活用型木質軸組構法実験棟。金物を一切使わず、木、竹、土といった自然素材だけで構造体を構築したユニークな木造実験住宅である。各種外壁材の耐候性実験、床下菌類の分布計測実験、シロアリの木造住宅食害実験、屋根裏温度分布の計測等を継続中。

2. 専門委員会の構成 および開催状況

小松幸平 (委員長、京大 RISH) 井上正文 (大分大) 巽太輔 (九州大学) 川瀬博 (京大 防災研)
神谷文夫 (森林総研) 飯島泰男 (秋田木高研) 仲村匡司 (京大農) 篠原直毅 (京大 RISH)
川井秀一 (京大 RISH) 今村祐嗣 (京大 RISH) 矢野浩之 (京大 RISH) 中村卓司 (京大 RISH)

H20 年度の専門委員会は、全て課題承認に関してメール回議によって行った。

3. 本年度の共同利用実績 (利用課題数と延べ日数)

期間	応募	承認	利用 (辞退)	延べ日数
平成 20 年度	22 件	22 件	22 (0) 件	日

4. 平成 20 年度共同利用課題一覧

2008年木質材料実験棟採択課題

整理番号	課題番号	研究課題	研究代表者名(共同研究者数)所属・職名 /所内担当者
1	20WM-01	圧縮木材を用いた接合技術の高信頼度化に関する研究	福留重人(2名)/鹿児島県工業技術センター/小松
2	20WM-02	木口挿入型接合具を用いた木材接合法の設計法の検討	井上正文(4名)/大分大学工学部福祉環境工学科・教授/森
3	20WM-03	化学修飾リグニンの調製とその熱処理生成物の物質評価	木島正志(2名)/筑波大学 数理工学物質科学研究科・准教授/畑
4	20WM-04	国産材住宅等における高耐震・高信頼性接合部の開発ー柱脚接合部の補強方法の検討ー	柴田直明(12名)/長野県林業総合センター・専門研究員/小松
5	20WM-05	長寿命SI住宅の骨格をなす集成材ラーメン架構の開発	小松幸平(9名)/生存圏研究所・教授/小松
6	20WM-06	熱帯樹木の木部中無機成分	岡田直紀(1名)/京都大学大学院農学研究科森林科学専攻・准教授/畑俊充
7	20WM-07	規格化セルロースナノファイバーの開発研究	岡本忠(5名)/近畿大学農学部・教授/矢野浩之
8	20WM-08	金属配位炭素材料の開発	岡本忠(1名)/近畿大学農学部・教授/畑俊充
9	20WM-09	熱電変換材料の構造解析と物性評価	北川裕之(3名)/島根大学総合理工学部・准教授/畑俊充
10	20WM-10	高ファイラー含有量の木質プラスチック複合体の試作	高谷政広(3名)/近畿大学農学部・准教授/梅村研二
11	20WM-11	セルロース繊維分散系の構造と粘弾性	巽大輔(1名)/九州大学大学院農学研究科森林資源科学部門・准教授/畑俊充
12	20WM-12	省資源型社会を目指した資源リサイクル型木造住宅の開発	田淵敦士(3名)/京都府立大学生命環境科学研究科環境科学専攻・講師/森拓郎
13	20WM-13	SiC熱電変換材料の物性評価	藤澤匡志(2名)/秋田県立大学木材高度加工研究所・流動研究員/畑俊充
14	20WM-14	京都府産木材の有効活用に関する研究	山路和義(6名)/京都府林業試験場・副主査/森拓郎
15	20WM-15	木質系テープを用いた集成材簡易補強技術の開発	足立幸司(6名)/東京大学アジア生物資源環境研究センター・特任助教/森拓郎
16	20WM-16	木材の横圧縮特性に関する研究	棚橋秀光(5名)/TASS(Tanahashi Structural Safety)デザイン研究室・主宰/小松幸平
17	20WM-17	木質炭素化物を原料としたスパッタリングターゲットの作製条件の検討とDLC薄膜の評価	畑俊充(2名)/京大生存圏研究所・講師/畑俊充
18	20WM-18	木質ラーメン構造のための接合性能に関する研究	野口昌宏(3名)/工学院大学地震防災・環境研究センター・ポストドクター/森拓郎
19	20WM-19	2階建て木造住宅(大安心の家)の耐震性能検証に関する震動台のための壁静加力実験	五十田博(5名)/信州大学工学部・准教授/森拓郎
20	20WM-20	住宅床下への木材劣化生物の侵入生態の把握とその予防に関する基礎的検討	築瀬佳之(5名)/京都大学大学院農学研究科・助教/吉村剛
21	20WM-21	大断面部材のボルト接合部の疲労特性の解明	渡辺浩(4名)/福岡大学工学部・准教授/小松幸平
22	20WM-22	アカシアマンギューム幅接ぎ集成材の強度特性	小松幸平(5名)/京大生存圏研究所・教授/小松幸平

5. 共同利用の公募と成果の報告

共同利用の公募は年1回で、毎年2月末日が締め切りである。応募書類は原則日本語とする。共同利用の窓口となるWebページを開設しており、受付は電子メールベースである。応募締切りの後、専門委員によるメール回議で受付審査を行い、結果を事務局で取りまとめ、研究代表者にメールで連絡している。

毎年会計年度末（3月末日頃）に生存圏研究所において研究報告会を開催して、当該年度の研究成果を発表している。平成20年度においては、平成21年3月26日に第123回生存圏シンポジウムの一環として、木質材料実験棟全国共同利用研究報告会を開催し、22課題の内、20課題の担当者が口頭発表ならびに報告書への投稿を行った。

6. 特記すべき事項

- 特記すべき研究成果を一つ挙げると、20WM-14の「京都府産木材の有効活用に関する研究（報告者：松井正和）」では、従来から木材強度研究者の間で囁かれていた「元玉に比べて、2番玉からとれる木材は剛性・耐力とも高い」という話を、スギ原木丸太30本を用いた詳細な実験データによって、明確に肯定する結果が報告された。特に、2番玉から採材された角材のヤング係数は元玉から採材された角材の14%増しであった。

- 全国共同利用に関する文科省の規定が変更になったこと、また所内外での人事異動などもあって、木質材料実験棟全国共同利用専門委員会の委員を以下のように更新した。
神谷文夫→林知行（森林総研）、今村祐嗣→井上正文（大分大）、中村卓司→山内秀文（秋田木高研）、鈴木祥之→川瀬博（防災研）、純増：野田康信（北林産試）、敬称略。
この新構成は平成21年度より適用する。

- 毎年行っている会計年度末の研究報告会開催に対する異論が今回投げかけられた。たしかに、木質材料実験棟全国共同利用の利用規定や内規には、このような研究報告会を行うという記述はなく、またその報告会に報告書を提出したり、参加して口頭発表をせねばならないという規定もない。従って、今回のような異論が出て不思議ではない。しかし、今後とも年度末の研究報告会は継続した方が望ましいと考えられるため、平成21年度の課題採択者には、年度末に研究報告会を予定していること、並びに、その報告会に研究者として可能な限り積極的に参加してほしい旨の案内を送付した。
本件については、専門委員会で合意が得られれば、平成22年度から利用規程に明確に記載する予定である。

- 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「律周舎」のホームページ
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/project/EcoJu.html>

生存圏データベース共同利用

1. 概要

「生存圏データベース」は、生存圏研究所が蓄積してきたデータの集大成で、材鑑調査室が収集する木質標本データと生存圏に関するさまざまな電子データとがある。材鑑調査室では1944年以来、60年以上にわたって収集されてきた木材標本や光学プレパラートを収蔵・公開している。また、大気圏から宇宙圏、さらには森林圏や人間生活圏にかかわるデータを電子化し、インターネット上で公開している。これら生存圏に関する多種多様な情報を統括し、全国・国際共同利用の中の一形態であるデータベース共同利用として管理・運営をおこなっている。

1.1 共同利用に供する施設 - 材鑑調査室

材鑑調査室は、1978年、国際木材標本室総覧に機関略号 KY0w として正式登録されたことを契機に、1980年に設立された。材鑑やさく葉標本の収集はもちろんのこと、内外の大学、研究所、諸機関との材鑑交換を積極的におこなっており、現有材鑑数は17,469個(172科、1,131属、3,617種以上)、永久プレパラート数は9,563枚にのぼる。標準木材標本室には日本産のみならず、ヨーロッパ、アフリカ、アジア、オセアニア、南北アメリカ等の標本も収められている。またこういった標本以外にも、指定文化財建造物の修理工事において生じる取替え古材を文化財所有者や修理事務所の協力に基づき系統的に収集を行っている。

1.2 共同利用に供するデータ - 各種電子情報

生存圏データベースの一環として、研究成果にもとづいて蓄積してきた電子情報にもとづく、以下のような種々のデータベース(現在のところ8種類)がある。

宇宙圏電磁環境データ：1992年に打ち上げられ地球周辺の宇宙空間を観測し続けている GEOTAIL 衛星から得られた宇宙圏電磁環境に関するプラズマ波動スペクトル強度の時間変化データ。

レーダー大気観測データ：過去20年にわたってアジア域最大の大気観測レーダーとして稼働してきた MU レーダーをはじめとする各種大気観測装置で得られた地表から超高層大気にかけての観測データ。

赤道大気観測データ：インドネシアに設置されている赤道大気レーダーで取得された対流圏及び下部成層圏における大気観測データと電離圏におけるイレギュラリティ観測データを含む関連の観測データ。

グローバル大気観測データ：全球気象データ(現在は、ヨーロッパ中期気象予報センターの再解析データと気象庁作成の格子点データ)を自己記述的でポータビリティの高いフォーマット(NetCDF)で公開。

木材多様性データベース：材鑑調査室が所蔵する木材標本ならびに光学プレパラートの情報を、また日本産木材データベースでは日本産広葉樹の木材組織の画像と解剖学的記述を公開。

植物遺伝子資源データ：植物の生産する有用物質(二次代謝産物)とその組織間転流や細胞内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、有用な遺伝子の EST 解析を行い、その遺伝子の情報を集積。

木質構造データ：大規模木質構造物・木橋等の接合方法や伝統木造建築の構造特性などの観点から、国内の主たる木質構造について、接合部などの構造データ、建物名や建築年代、使用樹種などのデータを集積。

担子菌類遺伝子資源データ：第二次世界大戦以前より収集されてきた希少な標本試料(木材腐朽性担子菌類の乾燥子実体標本；写真も含まれる)の書誌情報や生体試料の遺伝子情報を収集。

1.3 共同利用の形態

材鑑調査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。一方、電子データベースに関しては、インターネットを通し、原則として以下からすべて一般公開している。

<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/>

1.4 共同利用の公募

生存圏データベースの中でも、具体的な材鑑の利用・観察を通して共同研究を進める部分については、年に1回の共同利用研究公募(共同研究のほかに講習会開催による共同利用の公募も含む)をおこなっている。

る。書面および研究所の Web ページを通し、全国の研究者に向けて公募情報を発信している。本年度おこなった公募の要項は、以下を参照されたい。

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/kyoudou/20ZAIKAN.html>

2. 本年度の実績

平成 20 年度は共同研究 18 件、講習会 2 件を実施し、延べ 76 名の参加者を得た。平成 21 年度は、共同研究申請 13 件、講習会 5 件の申請を受理している。また、電子データベースに関し、20 年度の統計でデータベースアクセス件数は 5,328,254 件、ダウンロード 50,065 GB(ただし、一部公開データの統計)にのぼっている。

3. 特記事項

材鑑調査室の補修：材鑑調査室には貴重な木材標本が多数保管されている。建築後 20 年以上が経過した当施設では、屋上の排水構造に問題があり、天井からの水漏れを起こしやすく、木材標本の安全な保管という本来の機能を十分に果たせなくなりつつある。また、全国共同利用施設化、日本で唯一の古建築部材の収集の開始（文化財クラス 200 点）、標準木材標本収集の活性化（ここ 2 年間で約 1000 点の増加）、バーチャルフィールドの開設による大幅な見学者の増加（身障者を含み昨年度 585 名、本年度 1202 名）に対応出来るように、施設を改装ならびにバリアフリー化する必要が生じてきていた。そこで、学内営繕費を受け、屋上部分の排水機構について抜本的な改修を計画した。防水のための屋根を増設するのに伴い、現行の建物に天井裏保管庫を増床し、1 階部分は木材標本の保管室と見学者のための展示スペースならびに居室の拡張を図った。また一部外構工事も行い、車道から身障者用入口までのエントランススロープを設置した。

生存圏データベース(材鑑調査室)全国共同利用研究成果発表会：本年度は開催せず。関連の国内外の研究者を招待して「木の文化と科学 VIII」を京都キャンパスプラザで開催した。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

平成 20 年度共同研究の採択課題名を以下に記す。

1. 日本産木材標本採集実習
2. 師部細胞の形態系統進化に関する基礎調査
3. 生物多様性に基づく中国産木材の構造的特徴の精査
4. 遺跡出土自然木の樹種からみた古代における木材利用（2）
5. 中国新石器時代遺跡における木材利用の解明³
6. 材鑑データベースを活用した樹木の民俗学的研究
7. 生存研材鑑データベースを核とした国内大学収蔵木材標本の実態把握と情報整備
8. 年輪年代学的視点に基づく材鑑標本の試料調査および年輪データベースの構築
9. 歴史的建造物由来古材の材質に関するデータベースの構築
10. 民家部材に用いられている樹種のデータベース構築
11. 遺跡出土材の収集とデータベース化その保存処理研究に向けて
12. 日本古来の天然繊維
13. 遺跡出土木製遺物用材データベースの構築
14. 樹木年輪のセルロースの安定同位体比を用いた古気候復元の試み
15. 木材の組織構造の変動と樹木の生理学的特性との同調性に関する研究
16. 木質系古文化財の修理修復技術の開発
17. ナラ枯れ抵抗性機構の研究に必要な組織観察技術の習得（講習会）
18. 樹種識別技術習得のための講習会への参加（講習会）

生存圏データベース全国・国際共同利用 専門委員会 平成20年度活動報告

- 材鑑調査室を中心とした共同利用：1944年以来、60年に渡って収集されてきた世界的にも貴重な材鑑調査室の木材標本を全国共同利用に供している。さらに、詳細情報やプレパラート画像をデータベース化し、オンラインで検索・評価できるシステムを構築し公開している。(平成20年度は、共同研究18件、講習会1件の共同利用を実施)



- 電子版生存圏データベース：「宇宙圏」、「大気圏」、「森林圏」、「生活圏」など、生存圏に関わる電子化された大量の情報をオンラインでアクセスできるようにすることにより、本研究所に蓄積された膨大な知的財産を国内外の研究者に提供している。(平成19年のデータベースアクセス件数は5,328,254件、ダウンロード50,065GB；<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/>にて公開中。)



平成20年度の特記事項

- 学内営繕費：材鑑調査室の屋上部排水機構は抜本的な改修が必要であり、防水のための屋根を増設するのに伴い、現行の建物に屋根裏ロフト部分を設営し、急速に増加しつつある古材標本の保管室にあてる。また見学者のための展示スペースを充実すると同時に、未完了であったバリアフリーエントランスの外構工事を行った。
- 生存圏データベース(材鑑調査室)全国共同利用研究成果発表会：本年度は開催せず。関連の国内外の研究者を招待して「木の文化と科学 VIII」を京都キャンパスプラザで開催した。



材鑑調査室工事後の外観



二階ウッドデッキ



二階ストックルーム

DASH(持続可能生存圏開拓診断)/ FBAS(森林バイオマス評価分析システム) 全国国際共同利用専門委員会

1. 共同利用施設および活動の概要

平成19年度の京都大学概算要求(特別支援事業・教育研究等設備)において、生存圏研究所が生態学研究センターと共同で申請した「DASH システム」を生存圏研究所に設置し、運用を開始した。本システムは、樹木を含む様々な植物の成長制御、植物共生微生物と植物の相互作用、ストレス耐性など植物の生理機能の解析を行うとともに、植物の分子育種を通じ、有用生物資源の開発を行うものであり、全国・国際共同利用に供する。これにより学際的、萌芽的研究の発掘とその推進を通じ、生存圏科学の発展に資することを目的としている。一方、平成18年度より全国共同利用として運用してきたFBASは、前者の分析装置サブシステムと内容的に重複するところが多いことから平成20年度よりDASHシステムと協調的に統合し、一つの全国・国際共同利用として運用することとした。後者は複雑な木質バイオマス、特にリグニンおよび関連化合物を中心として、細胞レベルから分子レベルにいたるまで正確に評価分析する、分析手法の提供をベースとした共同利用研究である。

2. 共同利用に供する設備

DASH 植物育成サブシステムは閉鎖系温室および特定網室としての特質を有する。温度や日長、照度といった環境条件を任意の一定条件で維持できる機器設備である。遺伝子組換え植物体の育成や発芽試験に用いられる。DASH 分析装置サブシステムでは、代謝産物分析装置など下記の分析装置を備えている。

・DASH 植物育成サブシステム

組換え植物育成用(8温室+1培養室+1準備処理作業室)

大型の組換え樹木にも対応(温室の最大高さ6.9m)

・DASH 分析装置サブシステム

1)代謝産物分析装置	LCMS-IT-TOF	1台
2)植物揮発性成分分析装置	GC-MS	2台
3)土壌成分分析装置	ライシメータ	2台

・FBAS として共同利用に供する設備

四重極型ガスクロマトグラフ質量分析装置

高分解能二重収束ガスクロマトグラフ質量分析装置

四重極型液体クロマトグラフ質量分析装置

ニトロベンゼン酸化反応装置

その他の装置

核磁気共鳴吸収分光装置

透過型電子顕微鏡

3. 公募と共同利用の実施

平成20年9月8日

第1回DASH全国国際共同利用専門委員会、試験運用開始

平成20年11月7日～17日 平成20年度分研究課題公募
 平成20年12月11日～18日 申請課題審査
 平成20年12月25日 課題採択、全国国際共同利用開始
 平成21年2月18日～3月6日 平成21年度分研究課題公募
 平成21年3月11日～4月2日 申請課題審査
 平成21年4月3日 課題採択

4. DASH/FBAS 専門委員会の構成および開催状況

1) DASH/FBAS 専門委員会の構成

西谷和彦（東北大学大学院） 村中俊哉（横浜市立大学） 青木俊夫（日本大学）
 河合真吾（静岡大学） 重岡成（近畿大学） 太田大策（大阪府立大学大学院）
 松井健二（山口大学大学院） 柴田大輔（財団法人かずさDNA研究所）
 明石良（宮崎大学） 高部圭司（京都大学大学院） 高林純示（生態学研究センター）
 大串孝之（生態学研究センター） 津田敏隆（生存圏研究所） 塩谷雅人（生存圏研究所）
 矢崎一史（生存圏研究所・委員長） 渡邊隆司（生存圏研究所） 梅澤俊明（生存圏研究所）
 杉山淳司（生存圏研究所） 山川宏（生存圏研究所） 林隆久（生存圏研究所）
 黒田宏之（生存圏研究所） 馬場啓一（生存圏研究所） 服部武文（生存圏研究所）

2) 委員会・シンポジウム等開催状況

第1回 DASH 全国国際共同利用専門委員会 平成20年9月8日
 第2回 DASH 全国国際共同利用専門委員会（メール回議） 平成20年11月4日
 第3回 DASH 全国国際共同利用専門委員会（メール回議） 平成21年2月9日

5. 本年度の共同利用実績(利用課題数と延べ日数)

期間	応募	承認	利用	延べ日数
平成20年度	15件	15件	15件	97日

6. 平成20年度共同利用課題一覧

採択課題番号	研究課題	研究代表者	所属機関/職名	所内担当者
20DF-01	木部形成に関与する糖鎖の樹体内機能解析	林 隆久	京都大学生存圏研究所 准教授	林 隆久
20DF-02	形質転換植物の細胞壁成分の解析	日尾野 隆	王子製紙(株) 上級研究員	梅澤 俊明
20DF-03	イソプレレン放出植物を使った高温耐性機構の研究	矢崎 一史	京都大学生存圏研究所 教授	矢崎 一史
20DF-04	生活習慣病予防米の機能性評価	丸山 伸之	京都大学大学院農学研究科 准教授	矢崎 一史

20DF-05	耐病性遺伝子によるケイヒ酸モノリグノール経路誘導機構	廣近 洋彦	農業生物資源研究所 基盤研究領域長	梅澤 俊明
20DF-06	バイオ燃料向け形質転換イネの細胞壁成分の解析	岡崎 孝映	かずさ DNA 研究所 主任研究員	梅澤 俊明
20DF-07	揮発性物質が媒介する生物間情報ネットワークの解明	高林 純示	京都大学生態学研究センター 教授	高林 純示
20DF-08	フェニルプロパノイド化合物の代謝解析	鈴木 史朗	京都大学生存基盤科学研究ユニット 助教	梅澤 俊明
20DF-09	ラジカル反応を統御する担子菌代謝物の構造解析	渡辺 隆司	京都大学生存圏研究所 教授	渡辺 隆司
20DF-10	構造を制御した人工リグニンの合成と応用	岸本 崇生	富山県立大学工学部生物工学科生物有機化学講座 准教授	渡辺 隆司
20DF-11	菌根菌が生産する難水溶性リン酸塩を可溶化する有機酸の解析	岩瀬 剛二	鳥取大学農学部 附属菌類きのこ遺伝資源研究センター 教授	服部 武文
20DF-12	元素戦略型有機合成反応によるバイオリニューアブル炭素資源活用技術の開拓	中村 正治	京都大学化学研究所 附属元素科学国際研究センター 教授	渡辺 隆司
20DF-13	有用成分を高効率・高生産する組換え植物作出技術の研究開発	矢崎 一史	京都大学生存圏研究所 教授	矢崎 一史
20DF-14	セルロース生合成における c-di-GMP の役割	今井 友也	京都大学生存圏研究所 准教授	今井 友也
20DF-15	樹木二次代謝成分の生合成と機能	河合 真吾	静岡大学農学部 准教授	黒田 宏之

(注) 課題番号 20DF-01 から 20DF-07 までは DASH 植物育成サブシステムを利用した研究課題

7. 特記事項

平成 20 年度の特筆すべき活動は以下のとおり。

1. DASH システムの落成・披露式 (6 月 21 日)
2. DASH 全国国際共同利用専門委員会の設置
3. 全国国際共同利用の開始
4. 以下に挙げる、DASH/FBAS を利用することによって得られた研究成果

Kamimoto, Y., Hamamoto, M., Shitan, N., Yazaki, K., Unusual expression of an *Arabidopsis* ATP-binding

- cassette transporter *ABCC11* Plant Biotechnol., 26 (2), 261-265 (2009).
- Akashi, T., Sasaki, K., Aoki, T., Ayabe, S., and Yazaki, K., Molecular cloning and characterization of a cDNA for pterocarpan 4-dimethylallyltransferase catalyzing the key prenylation step in the biosynthesis of glyceollin, a soybean phytoalexin. Plant Physiol., 149 (2), 683-693 (2009).
- Tsubasa Shoji, T., Inai, K., Yazaki, Y., Sato, Y., Takase, H., Shitan, N., Yazaki, K., Goto, Y., Toyooka, K., Matsuoka, K., Hashimoto, T., MATE-type transporters Implicated in vacuolar sequestration of nicotine in tobacco roots. Plant Physiol., 149 (2), 708-718 (2009).
- Satomi Y, Ohara K, Yazaki K, Ito M, Honda G, Nishino H., Production of the monoterpene limonene and modulation of apoptosis-related proteins in NIH3T3 cells by introduction of the limonene synthase gene isolated from the plant *Schizonepeta tenuifolia*. Biotechnol Appl Biochem. 52 (Pt3), 185-190 (2009).
- Yazaki, K., Sugiyama, A., Morita, M., Shitan, N., Secondary transport as an efficient membrane transport mechanism for plant secondary metabolites. Phytochem. Rev., 7: 513-524 (2008).
- Sasaki, K., Mito, K., Ohara, K., Yamamoto, H., Yazaki, K., Cloning and characterization of naringenin 8-prenyltransferase, a flavonoid-specific prenyltransferase of *Sophora flavescens*. Plant Physiol., 146 (3), 1075-1084 (2008).
- Verrier, P. J., Bird, D., Burla, B., Dassa, E., Forestier, C., Geisler, M., Klein, M., Kolukisaoglu, Ü., Lee, Y-S/, Martinoia, E., Murphy, A., Rea, P. A., Samuels, L., Schulz, B., Spalding, E. J., Yazaki, K., and Theodoulou, F. L., Plant ABC proteins- unified nomenclature and updated inventory, Trends in Plant Sci., 13 (4), 151-159 (2008).
- Sugiyama, A., Shitan, N., Yazaki, K., Signaling from soybean roots to rhizobium, an ATP-binding cassette-type transporter mediates genistein secretion. Plant Signaling & Behavior, 3(1), 38-40, (2008)
- Takanashi, K., Shitan, N., Sugiyama, A., Kamimoto, Y., Hamamoto, M., Iwaki, T., Takegawa, K., Yazaki, K. Galactinol synthase gene of *Coptis japonica* involved in berberine tolerance, Biosci., Biotech., Biochem., 72 (2), 398-405 (2008).



DASHシステムの落成・披露式(平成20年6月21日)



DASH外観

DASH内部(完成直後)



プロジェクト全国国際共同利用

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している。

2. 委員会構成

杉山淳司（委員長）、飯島泰男（秋田県立大学）、家森俊彦（理学研究科）、今村祐嗣、梅澤俊明、津田敏隆、塩谷雅人、橋本弘蔵、西尾嘉之（農学研究科）、林祥介（神戸大学）、林泰一（防災研究所）、藤井智之（森林総合研究所）

3. 本年度の事業成果

3.1. シンポジウム実施状況

本年度は第99回から第124回の生存圏シンポジウムを開催した。26件のうち、生存圏研究所の全国共同利用の展開と研究所ミッションの推進に関連した研究所主催のシンポジウムが12件である。残りの14件は生存圏科学研究の関連分野における萌芽的研究に関するテーマや生存圏プロジェクトに関連の深いテーマについて全国の研究者が集中的に討議する「公募型シンポジウム」である。また国際会議（海外の講演者を含む会議）も5件を数える。参加人数は1689名であった。

生存圏シンポジウム

生存圏シンポジウムNo.	研究集会名	開催日	開催場所
99	Sustainable Utility of Wood Biomass	平成20年6月5日	京大大学生存圏研究所 木質ホール
100	生存圏フォーラム設立総会および設立記念シンポジウム	平成20年7月12日	京都大学百周年時計台記念館
101	大気・宇宙の短時間現象検出に関する研究会	平成20年9月1-2日	信楽MU観測所
102	MTI 24時間耐久研究会	平成20年9月18-9日	信楽MU観測所
103	「生活にバイオ材料を取り込むことが社会を変える」シンポジウム	平成20年9月19日	京都リサーチパーク サイエンスホール
104	有限要素法を用いた木質構造接合部の解析手法の現状と今後の課題	平成20年9月3日	京大大学生存圏研究所 木質ホール
105	第2回赤道大気レーダーシンポジウム	平成20年9月25-26日	京大大学生存圏研究所 木質ホール
106	木材の耐用性－強い木・弱い木	平成20年11月8日	京大大学生存圏研究所 木質ホール
107	「SGEPSS 波動分科会」（磁気圏および宇宙空間のプラズマ波動の観測と理論）	平成20年10月13日	九州大学 国際交流プラザ
108	国際シンポジウム：IGYから50年－最新情報技術と地球・太陽の科学－	平成20年11月10-14日	産業技術総合研究所
109	生存圏研究所ミッション推進シンポジウム	平成20年12月10日	京大大学生存圏研究所 木質ホール

110	木質構造のこれからを考える若手の会 Part 2 ー産官学の知識・技術の融合を目指してー	平成20年12月16日	東京大学 弥生講堂 アネックス
111	気象災害軽減など人間活動の持続可能性に関する研究集会 ー南アジア地域を中心としてー	平成21年1月29ー 30日	京都大学生存圏研究所 木質ホール
112	メタボロミクスに基づく人類の生存基盤構築	平成21年3月18日	京都大学農学部 大講義室(W100)
113	木の文化と科学 VIII	平成21年2月6日	キャンパスプラザ京都
114	地球温暖化防止の観点からの土木における「木材」の利用	平成20年月11月21日	京都大学生存圏研究所 木質ホール
115	SGEPSS波動分科会「惑星・太陽・天体からの電波放射」	平成 21 年 2 月 14-15 日	しもなの郷（高知高専木星電波観測所）
116	居住圏劣化生物飼育棟(DOL)/生活・森林圏シミュレーションフィールド(LSF)全国国際共同利用研究成果報告会	平成21年2月26日	京都大学宇治構内エネルギー理工学研究所 大会議室(北4号棟4階)
117	第5回 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	平成21年2月18日	京都大学生存圏研究所 木質ホール
118	第1回宇宙環境・利用シンポジウム・第2回宇宙ユニットシンポジウム	平成 21 年 3 月 2 日	京都大学生存圏研究所 木質ホール
119	「第8回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会」	平成21年3月13日および3月16日	京都大学生存圏研究所 遠隔講義室
120	赤道大気圏のアジア域地上観測ネットワーク構築に関する研究集会	平成21年3月2ー5日	バンドン(インドネシア)
121	RISH 電波科学計算機実験シンポジウム (KDKシンポジウム)	平成21年3月16日(PM)・17日(AM)	京都大学生存圏研究所 総合研究実験棟
122	生存圏萌芽ミッションシンポジウム	平成21年3月19日	京都大学生存圏研究所 木質ホール
123	木質材料実験棟H20年度共同利用研究発表会	平成21年3月26日	京都大学生存圏研究所 木質ホール
124	「持続的生存圏の構築に向けて」 “Towards Establishment of Sustainable Humansphere” (生存圏科学スクール“Humansphere Science School”)	平成 21 年 3 月 26ー 27 日	LIPi バイオマテリアルセンター、チピナン(インドネシア)

3.2. 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 19 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法住宅の開発」、「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。

⑧ 生存圏データベース

標本を主体とする材鑑や木材腐朽菌のコレクションと、電子媒体を主体とする大気圏の基本データとなる MU レーダーデータ、赤道大気データ、グローバル大気データ、さらに宇宙圏を中心とした宇宙圏電磁環境データ、森林圏や人間生活圏に関わる材鑑データ、担子菌データ、植物遺伝子資源データ、木質構造データなどからなる。これらすべての個別的なデータベースは既に学術的に価値の高いものであるが、これをさらに生存圏データベースとして統合し、「人類の持続的発展」という 21 世紀に我々が目指す新しい科学研究に供するデータベースとして発展させる。

(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、グローバル COE「生存基盤持続型の発展を目指す地域研究」、「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

生存圏学際萌芽研究センターは、生存圏のミッションに関わる萌芽的、学際的、融合的な研究を発掘・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、新たな研究領域の開拓を目指している。そのために、所内教員のほか、ミッション専攻研究員、学内研究担当教員、および学外研究協力者と共同で圏間科学を推進し、4圏の融合による生存圏学際新領域の展開に努めている。

平成20年度は9名のミッション専攻研究員を公募によって採用し、萌芽ミッションの研究推進を図るべく、生存圏科学の新しい領域を切り開く研究に取り組んだ。

また、所内のスタッフだけではカバーできない領域を補うために、20年度は理学研究科、工学研究科、農学研究科を含む17部局、計53名に学内研究担当教員を委嘱した。また、所内教員を含む学内教員からミッションプロジェクトを募集し、20年度は合計12課題について萌芽、融合的なプロジェクト研究に取り組んだ。

また、ミッション専攻研究員を中心にした定例オープンセミナーや研究成果発表のためのシンポジウムを開催し、生存圏が包摂する4圏の相互理解と協力を促し、これに基づく生存圏にかかわる学際的な萌芽・融合研究について、新たなミッション研究を創生・推進することに努めている。このオープンセミナーについては、所員やミッション専攻研究員だけでなく、所外の様々な領域の研究者を囲み、学生達とも一緒になって自由に意見交換を行い、より広い生存圏科学の展開に向けて相互の理解と研鑽を深めるとともに、新しい研究ミッションの開拓に取り組んだ。

センター会議およびセンター運営会議を開催し、センターやミッション活動の円滑な運営と推進を図るための協議を定期的に行った。

1.1 当センターの構成員

- ・ センター長（渡辺隆司(兼任)）
- ・ 所内教員（萌芽研究分野：篠原真毅・今井友也、融合研究分野：橋口浩之・畑 俊充、学際研究分野：矢崎一史、中村卓司(いずれも兼任)）
- ・ ミッション専攻研究員（園部太郎、大橋康典、坂東麻衣、原田英美子、Mustafa Abul Kalam Azad, I. Venkata Subba Reddy, Sasa Sofyan Munawar, Mahabubur Rahman、井口一成）
- ・ 学内研究担当教員（兼任）
- ・ 学外研究協力者

1.2 ミッション専攻研究員の公募

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）に係わる萌芽・融合的な研究プロジェクト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 ミッション専攻研究員の研究概要

()は所内共同研究者

園部太郎（篠原真毅）：脱化石資源を目指したマイクロ波利用による材料(木質バイオマス料・セラミックス・金属材料)のエネルギー・化学物質変換サーマルプロセスの開発

現在の外部加熱方式による材料プロセッシングにおいて、更なる省エネルギー・高効率プロセスの実現

には抜本的なプロセスの転換が必要である。マイクロ波加熱は、対象物の迅速加熱、迅速応答、選択加熱を実現できることから、近年、製鉄・非鉄、窯業・セラミックス産業、有機材料合成など様々な材料プロセッシング分野で新規の省エネルギー熱源として注目されている。

本研究では、家庭用電子レンジから試作加熱装置を駆使して、非平衡的な金属酸化物還元プロセスなどの高温プロセスから、触媒材料の表面改質、有機薄膜アニールなど中低温プロセスに至るマイクロ波加熱試験を実施し、マイクロ波加熱材料プロセッシングの可能性について追及している。これまでに、国内特許2件（特願2008-42652，特願2008-315077）、国際ジャーナル誌3報（うち1報投稿中）に研究成果を纏めている。



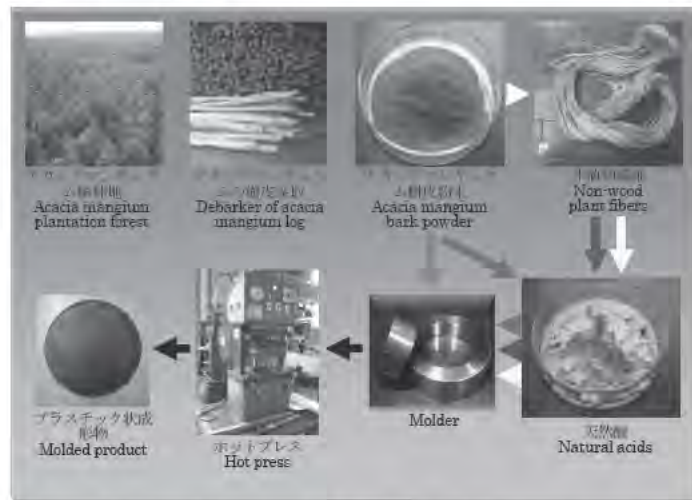
マイクロ波プラズマ発光



TiO₂のマイクロ波還元（左：照射前、右：照射後）

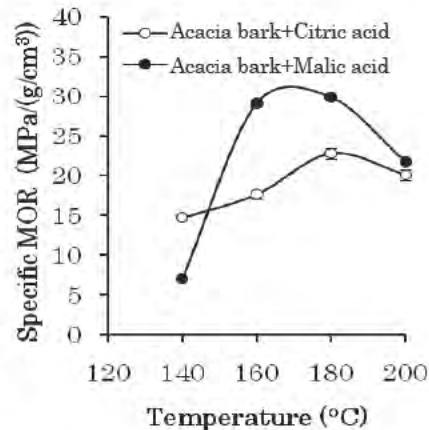
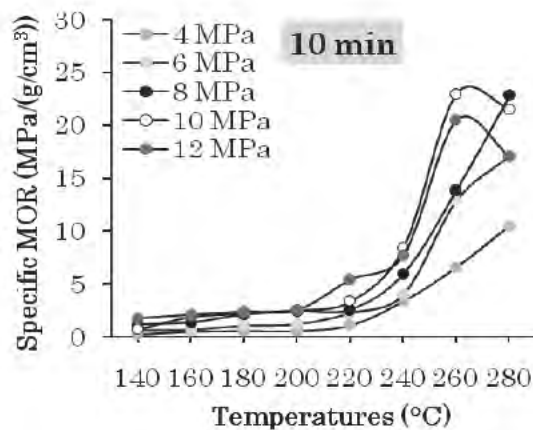
Sasa Sofyan Munawar (Shuichi Kawai) : Development of new plastic-like molded products from acacia mangium bark and natural acid reinforced with non-wood plant fibers

Some renewable resources i.e. acacia mangium bark, natural acids (citric acid, malic acid) and plant fibers (ramie, pineapple, sansevieria) were used as material in the field of molding production. For the first condition, acacia bark powder was molded at 140-280°C and 4-12 MPa for 5-20 minutes. In the second condition, acacia bark powder and short sansevieria fiber (5-10mm of length) were mixed with both of citric acid and malic acid and molded at 140-200°C and 4 MPa for 10 minutes. And the third condition, acacia bark powder and citric acid were mixed with both of ramie, pineapple and sansevieria fibers and molded at 140-200°C and 4 MPa for 10 minutes.



And the third condition, acacia bark powder and citric acid were mixed with both of ramie, pineapple and sansevieria fibers and molded at 140-200°C and 4 MPa for 10 minutes.

Acacia mangium bark can directly mold and found good mechanical properties (25 MPa) in high pressing temperatures (260-280°C). In addition, the mechanical properties of the molded product made from acacia bark and sansevieria fiber mixed with both of citric acid and malic acid increased by more than 80-90% compared with that of products produced without using acids in low pressing temperatures (140-200°C). Molded products with a modulus of rupture (MOR) of 5 to 30 MPa were obtained. On the other hand, molded products made from mixing of acacia bark, plant fiber and acids showed poor on mechanical and physical properties.



坂東麻衣 (山川 宏) : スペースデブリ・地球接近小惑星環境計測のための軌道制御

宇宙機の軌道近傍の複数のデブリやPHA（地球接近小惑星）を観測するミッションを考えた場合、一台の宇宙機で複数の軌道上をまわるほうが経済的である。近年、Scheeres らにより提案された手法では、ハミルトン系の正準変換の母関数を用いることにより、制御開始時に必要な制御量が、宇宙機の初期位置、対象の位置および時刻をパラメータとする関数として得られるため、複数回最適化問題を解くことなく問題の解を得ることができる。このため、複数対象へのフライバイおよびランデブー制御問題を考えた場合都合が良い。しかし、非線形方程式の最適化問題を直接扱うのではなく、ノミナル軌道から誤差に関するテーラー展開として解を構成するため、ノミナル軌道からの距離が大きくなるほど誤差が増えるという問題点があった。しかし、大きな軌道面の変化を扱うことができないなど適用範囲には限界があるため、もとの非線形方程式を直接扱うことは有用な場面も多いと考えられる。

本研究では、近年提案された Chebyshev 多項式を用いた HJB 方程式の近似計算法を用いることにより、より広い範囲での解が得られることを示し、数値シミュレーションにより提案手法の有効性を確認した(図2)。

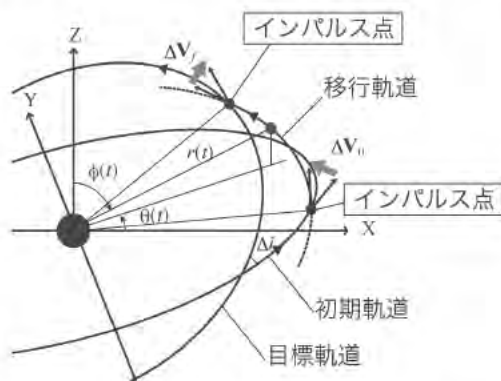


図1：インパルスによる軌道変更

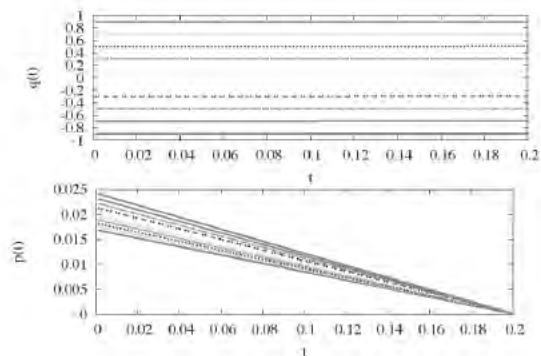


図2：終端で速度が0となる軌道
(上)位置 (下)速度

I.Venkata Subba Reddy (Toshitaka Tsuda) : Global variation of water vapor using different observational platforms (Aqua, COSMIC, NCEP and ECMWF)

The spatial and temporal variations of water vapor are very important in understanding abnormal and forecasting

weather and to study climate change as water vapor (WV) is one of the greenhouse gases and it releases latent heat through condensation. Recently different observational techniques were evolved to probe the changes in the atmosphere on a global basis, irrespective of the weather conditions and to monitor continuously, with high temporal and spatial resolutions (both vertical and horizontal) and some of these techniques are self calibrated. The COSMIC, AQUA, NCEP and ECMWF data sets are useful to study the global variation of WV. Each data set has its own special features and these are useful to understand the WV globally more qualitatively and quantitatively. By taking the larger datasets causes for the variability of WV and the influence of WV on global climate change can be studied extensively.

We made a dataset of the WV with COSMIC data by using 1D-var analysis with JMA-GSM data as an Initial value. The retrieved WV profiles from the COSMIC 1D-var data are to be compared with the Aqua satellite as well as routine radiosonde observations at different latitudes. The NCEP reanalysis and ECMWF data was also used for the comparison and the difference between these observations was studied, especially focused on the variation of WV globally as well as over the pacific region especially in the Indonesia over the latitude $\pm 20^\circ$ and longitude 90° - 180° E. The area is chosen because of where most of the times unusual weather systems occur and it causes the damage of social, economic and human activities. The variation of WV associated with the onset of Indian monsoon was investigated with the dataset of WV with COSMIC data (Figure 1).

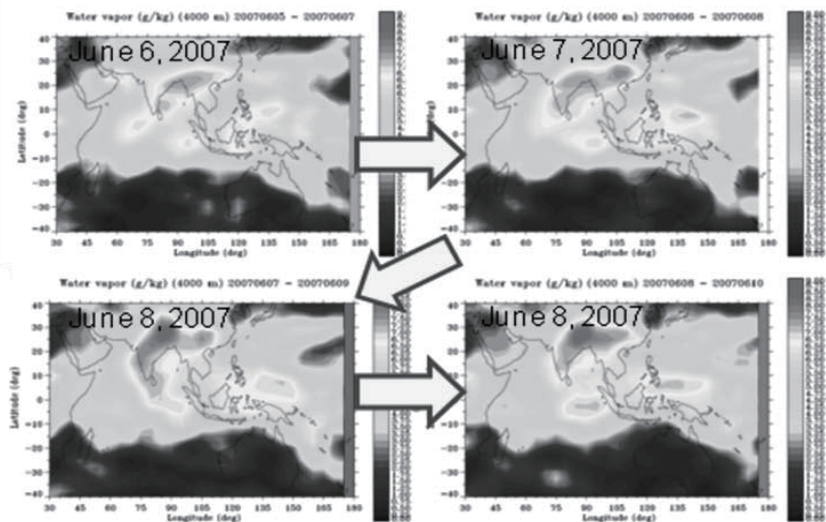


Figure 1: WV variation associated with the Indian monsoon onset.

Md. Mahabubur Rahman (Toshiaki Umezawa) : Regeneration and Genetic Transformation of *Acacia mangium*

Regeneration and genetic transformation protocols of *Acacia mangium* and *A. crassicarpa* were conducted in this project. Different explants such as shoot tip and nodal segments were used for axillary shoot regeneration. The leaf, stem, and phyllode segments were tested for efficient shoot regeneration of both *Acacia* species. The nodular callus was obtained from leaf segments from the both species on MS medium supplemented with $5.0 \mu\text{M}$ TDZ + $1.5 \mu\text{M}$ IAA. This callus was subcultured in MS medium containing different concentrations and combinations of PGRs for shoot regeneration, which are on going. The concentration of hygromycin at 20 mg/l , G418 at 30 mg/l , and basta at 10 mg/l in plant growth regulator (PGR) MS medium completely inhibited the growth of *A. mangium* seedlings by necrosis. The pH35CG and pH35GC plasmids harboring eCFP (enhanced cyan fluorescent protein) gene were successfully transformed in *Agrobacterium tumefaciens* GV3101::pMP90 strain, and pIG121-Hm plasmid was transformed to EHA105 strain. As a positive control, genetic transformation of hybrid aspen was performed by *A. tumefaciens* GV3101::pMP90 strain harboring the binary vector pH35CG and pH35GC that carries CFP gene.

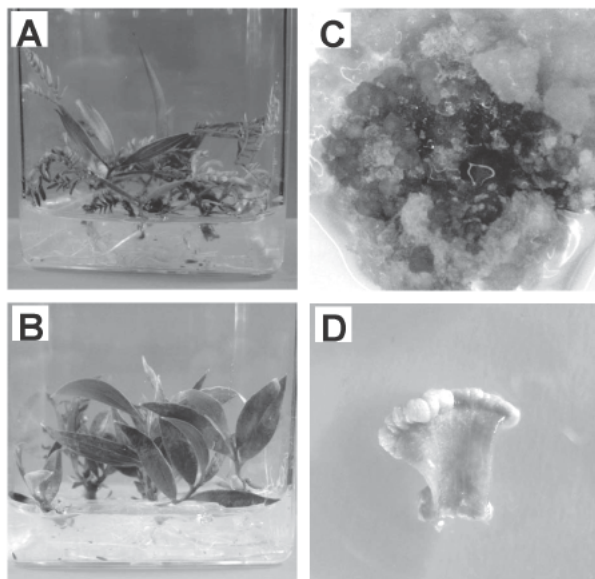


Fig. *In vitro* regeneration of *Acacia mangium* and *A. crassicarpa*. Regenerated axillary shoots of *A. mangium* (A) and *A. crassicarpa* (B). Globular structure callus induced from pinnate segments of *A. mangium* (C) and globular form at cut end of phyllode segment of *A. crassicarpa* (D).

大橋康典（渡辺隆司）：アカシア材の化学資源化を目指したマイクロ波およびその増感剤を利用した反応系の開発

アカシア (*Acacia mangium*) は南洋早生樹であり、厳しい環境においても生育することができるうえ、土壌に与える負荷が小さいことからバイオマス資源として注目されている。一方、木材の化学資源化の際には木材の構成成分である多糖とリグニンを分離することが必要不可欠であるが、一般に用いられている手法は環境に高い付加を与えるものであり、循環型社会を目指したバイオマス利用という観点からは馴染まないものである。そこで本研究では、有機溶媒中に分散させた木材に対してマイクロ波照射と触媒反応とを組み合わせた処理を施し、木材中の多糖成分を残しながらリグニンを効率よく分解することのできる、低環境負荷な反応系の開発をおこなった。本手法を用いてアカシアおよびスギ (*Cryptomeria japonica*) のパウダー (14-30 mesh) を処理した結果、それぞれ木材の 54.4% および 55.7% の糖を回収することができた。この数値は、硫酸もアルカリも用いない処理法としては極めて高い数値である。また、ブナ (*Fagus crenata*) を用いてマイクロ波処理と外部加熱処理とを比較した結果、条件によってはマイクロ波処理の系において外部加熱の倍以上の糖収率を記録した (図 1)。さらに、本手法によって分解されたリグニン成分として、無機化されずに芳香環を維持した約 10 種類の化合物が得られた。したがって、これらの化合物を回収・精製することでリグニンからの有用物質の生産につながると期待できる。(特願 2009-013689)

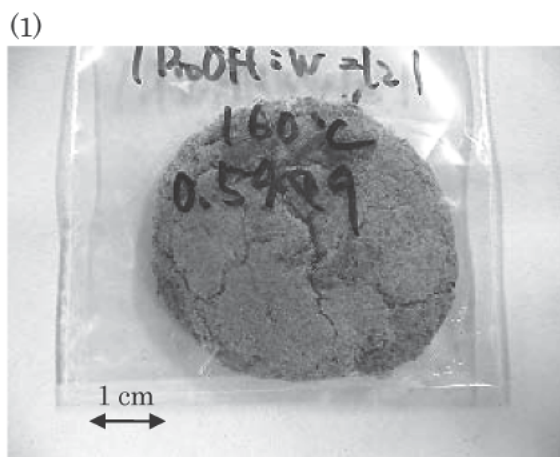


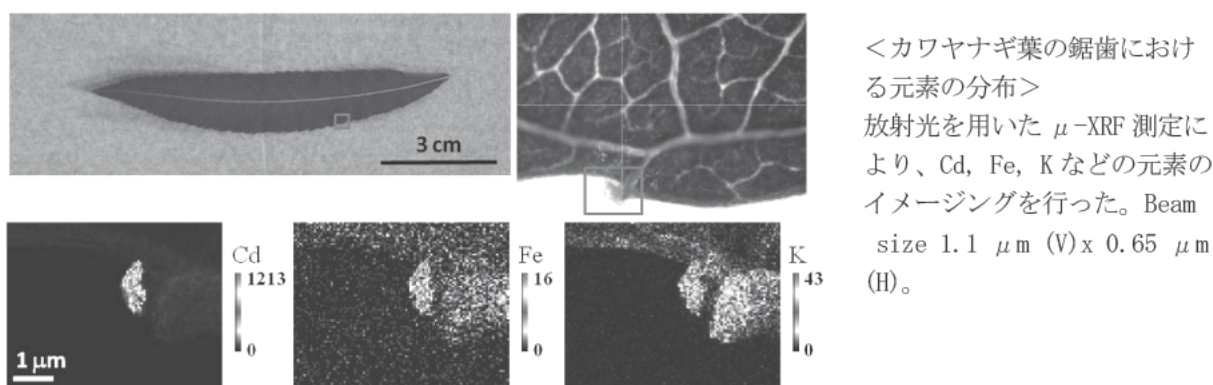
図1 マイクロ波処理(1)と外部加熱処理(2)のサンプル比較

[触媒] = 60 μmol / g wood, 溶媒 : 1-プロパノール/水 (10 g/10 g, w/w) プナ木粉:溶媒 = 1 g : 20 g, マイクロ波照射条件 : 160°C, 30分
 糖化率は、(1): 45.1% (40 FPU/g pulp), 17.5% (1 FPU/g pulp), (2): 20.8% (40 FPU/g pulp), 3.9% (1 FPU/g pulp)

原田英美子 (矢崎一史) : 樹木を用いた重金属汚染土壌のファイトレメディエーション法の開発研究

植物を用いて環境汚染を浄化する手法を、ファイトレメディエーションと呼んでおり、重金属汚染土壌修復への適用が考えられている。この手法は主に、重金属蓄積性の草本植物を用いて研究が行われており、木本植物の植物体内での金属の動態や化学形態、また、金属耐性や蓄積性、輸送をつかさどっている遺伝子などについては、未解明の部分が多い。本研究では、重金属を蓄積する樹木であるとされながら、これまであまり注目されなかったヤナギを研究材料に用い、その金属蓄積能力を解明し、土壌の浄化技術を開発することを目指している。

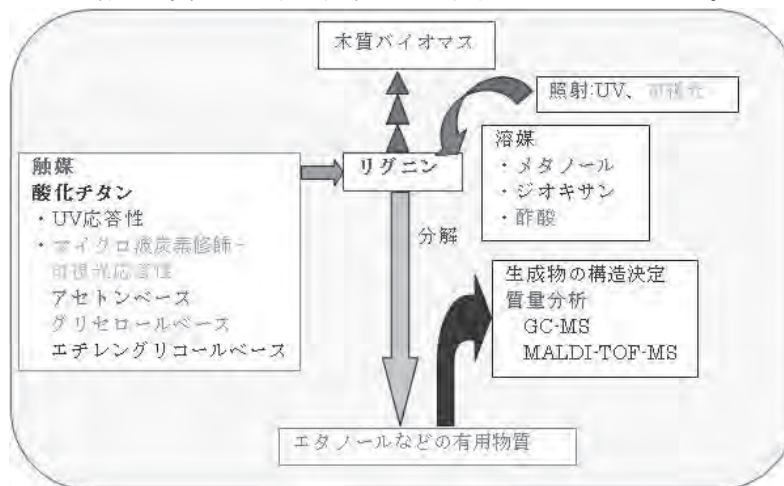
本年度はまず、京都大学生態学センターで維持栽培されており、種鑑定が確実な6種のヤナギを用いて重金属耐性を調べた。その結果、カワヤナギが、すでに重金属蓄積性が報告されているイヌコリヤナギよりも初期成長が速く、カドミウム耐性も強いことから、ファイトレメディエーションに利用可能であると考えられた。ヤナギにおける金属の蓄積部位を調べるため、水耕栽培の系を用いて植物体をカドミウムで処理、各組織ごとにサンプリング後、ICP-AES分析法を用いて金属含有量の測定を行ったところ、木化した枝の樹皮においてカドミウム濃度が高いことが判明した。さらに詳しい金属分布と化学形態を調べるため、シンクロトロンを用いた分光分析を行った。マイクロ蛍光X線分析法 ($\mu\text{-XRF}$) により、カドミウムの重要なシンクと考えられる葉の元素の分布を調べたところ、葉縁の鋸葉先端の細胞が金属を高濃度で蓄積していた。さらにマイクロX線吸収スペクトル近傍構造 ($\mu\text{-XANES}$) を測定し、樹皮および木部、鋸歯先端の細胞におけるカドミウムの化学形態について検討したところ、植物での一般的な化学形態と考えられているCd-Sのスペクトルとはいずれも一致せず、Cd-O、もしくは、Cd²⁺と近いことがわかった。以上の知見から、木本植物における金属の蓄積部位および化学形態は草本植物とは大きく異なっていることが考えられた。樹木を利用することにより、新しいファイトレメディエーション法の開発が可能であると考え、研究を継続中である。



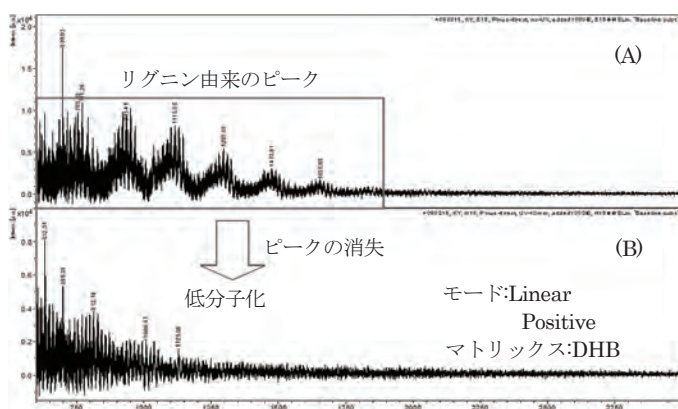
井口一成 (渡辺隆司、園部太郎) : アカシア材の化学資源化を目指したマイクロ波およびその増感剤を利用した反応系の開発

化石燃料の大量消費による地球温暖化や枯渇化が深刻な問題となっている今日では、再生可能資源から

エネルギー、燃料および化学品を高効率で生産する手法の開発が求められている。木質バイオマスは地球上に最も多く存在する有機資源であり、食料供給と直接競合しないため注目される。木質バイオマスは主に多糖とリグニンから構成されており、多糖は紙・パルプや化学品への変換など様々な用途開発が進んでいるが、リグニンは熱源として焼却処理されている他は、分散剤など一部の用途を除いて、ほとんど有効利用されていない。このためリグニンから有用物質を生産する変換手法の開発が求められている。リグニンの分解は、リグノセルロース系バイオマスに含まれる多糖の酵素加水分解前処理法としても重要である。本研究では太陽光などの光エネルギーを利用して木質バイオマスから有用物質を生産することを目的とし、マイクロ波炭素修飾 - 可視光応答性酸化チタンあるいは UV 応答性酸化チタンを用いて、溶媒存在下において木質バイオマスやリグニンの分解実験を行い、ガスクロマトグラフィー質量分析 (GC-MS) およびマトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析 (MALDI-TOF-MS) を用いてその分解挙動を調べた。その結果、光感応触媒下で UV や可視光を照射することで GC-MS のチャートや MALDI-TOF-MS スペクトルに変化が表れ、リグニンが分解して低分子化が起こることが明らかとなった。



光感応触媒下で UV や可視光を照射することで GC-MS のチャートや MALDI-TOF-MS スペクトルに変化が表れ、リグニンが分解して低分子化が起こることが明らかとなった。



図：アカマツのアテ材 MWL のリグニンの UV 応答性酸化チタン触媒による分解物—MALDI-TOF-MS スペクトル (A) 照射無し (B) 照射時間 10 分

2.2 平成 20 年度 生存圏研究所学内研究担当教員

部局名	職名	氏名	研究課題
大学院理学研究科・理学部	教授	余田 成男	赤道域大気変動と物質輸送に関する数値実験の研究
	教授	柴田 一成	太陽活動現象
	教授	里村 雄彦	赤道域降水変動に関する観測的及び数値実験の研究

大学院理学研究科・理学部	教授	鍵山 恒臣	火山からの火山ガス放出の遠隔測定の研究
大学院工学研究科・工学部	教授	永田 雅人	回転系対流パターンの非線形安定性解析による大気圏流れの解明
	教授	引原 隆士	マイクロ波エネルギー供給に関連した SiC パワーデバイスの応用に関する研究
大学院農学研究科・農学部	教授	太田 誠一	熱帯林の土壌生態
	教授	東 順一	未利用生物資源の有効利用による資源循環的社会の構築
	教授	谷 誠	森林・大気間における熱・水・CO ₂ 交換過程
	教授	中坪 文明	セルロースの機能化に関する研究
	教授	井上 國世	リグナン類の酵素機能調節に関する研究
	准教授	藤井 義久	木材の生物劣化の非破壊診断技術開発
	准教授	山内 龍男	木材パルプ繊維のリサイクル使用に関する研究
	准教授	高部 圭司	木質バイオマスの基本構造と多面的利用に関する研究
	講師	坂本 正弘	タケ資源の有効利用
	助教	小杉 緑子	森林・大気間における熱・水・CO ₂ 交換過程
大学院人間・環境学研究科・総合人間学部	教授	内本 喜晴	リチウムイオン二次電池および燃料電池材料の開発
大学院エネルギー科学研究科	教授	坂 志朗	ヤシ科植物の総合的エネルギー利用の研究
	准教授	河本 晴雄	ヤシ科植物の総合的エネルギー利用の研究
	助教	宮藤 久士	ヤシ科植物の総合的エネルギー利用の研究
大学院アジア・アフリカ地域研究研究科	教授	荒木 茂	熱帯強風化土壌における作物栽培の地域間比較
	教授	小杉 泰	イスラーム世界における生存基盤論
	教授	池野 旬	地域経済圏の形成に関する、アジア・アフリカの比較研究
大学院地球環境学	准教授	市岡 孝朗	森林生態系における生物間相互作用に関する研究
	准教授	須崎 純一	マイクロ波リモートセンシングによる農地の水資源モニタリング

化学研究所	教授	中村 正治	普遍金属を活用する精密有機合成の開拓
エネルギー理工学研究所	教授	森井 孝	生物機能の工学的利用
	准教授	佐川 尚	光成型エネルギー変換
防災研究所	教授	寶 馨	生存圏諸過程における防災技術政策に関する研究
	教授	川崎 一郎	広帯域地震計で地球磁場変動をとらえる試み
	教授	Sidle, Roy C	Evaluation of land cover change on soil and water resources
	教授	千木良 雅弘	地圏・水圏インターフェースでの岩石風化現象の解明
	教授	中北 英一	大気レーダーの水文学への応用に関する研究
	教授	石川 裕彦	境界層レーダーによる境界層観測とその気象防災への応用
	教授	釜井 俊孝	都市圏における地盤災害
	准教授	林 泰一	「伝染病に対する気象、気候要素インパクト」「スマトラアカシア林上の乱流輸送過程の研究」
	准教授	諏訪 浩	山地災害の水文地形的研究
	准教授	福岡 浩	森林圏における土砂災害・土砂環境の研究
	助教	王 功輝	森林圏における土砂災害・土砂環境の研究
助教	汪 発武	森林圏における土砂災害・土砂環境の研究	
原子炉実験所	教授	渡邊 正己	東アジアにおける原子力安全教育国際ネットワーク構築研究
東南アジア研究所	教授	松林 公蔵	医学からみた人間の生存圏
	教授	水野 廣祐	東南アジアにおける持続的経済社会とエントロピー
	教授	藤田 幸一	熱帯アジアの水資源利用・管理に関する研究
	教授	河野 泰之	東南アジアの生活・生業空間の動態
学術情報メディアセンター	教授	中島 浩	生存圏に関する計算実験への計算機科学的アプローチ
	准教授	岩下 武史	生存圏に関する計算実験への計算機科学的アプローチ

生態学研究センター	准教授	陀安 一郎	集水域の同位体生態学
地域研究統合情報センター	准教授	柳澤 雅之	生態環境資源の地域住民による利用と管理に関する研究
	助教	星川 圭介	人間の自然環境への適応形態と生存基盤の変化に関する研究
フィールド科学教育研究センター	教授	柴田 昌三	竹資源の有効活用の促進
	助教	坂野上 なお	木造住宅生産システムと木質材料の供給に関する研究
生存基盤科学研究ユニット	助教	鈴木 史朗	分子育種による循環型社会に適合した早生樹の創出

2.3 平成20年度 生存圏萌芽ミッションプロジェクトの研究概要

	氏名	研究プロジェクト題目	共同研究者	関連部局	関連ミッション
1	有村 源一郎 (理学研究科)	揮発性テルペンが媒介する生態系生物間情報ネットワーク	矢崎 一史 高林 純示	理学研究科 生態学研究センター	1
2	安藤 和雄 (東南アジア研究所)	ブラマプトラ川流域における生存圏のエコシステムの持続的発展の可能性	塩谷 雅人 林 泰一 小林健一郎 橋爪 真弘 寺尾 徹	東南アジア研究所 防災研究所 生存基盤科学研究ユニット 長崎大学熱帯医学研究所 香川大学教育学部	1
3	大串 隆之 (生態学研究センター)	樹木の遺伝的多様性が節足動物群集と生態系機能に果たす役割の解明	矢崎 一史 原田英美子 加賀田秀樹 内海 俊介	生態学研究センター	1
4	鍵山 恒臣 (理学研究科)	活動的火山湖からの湖面蒸発量測定の新手法開発 ーライダー技術の「安全・安心」への応用ー	中村 卓司 橋本 武志 寺田 暁彦	理学研究科 北海道大学理学研究院	1
5	須崎 純一 (地球環境学堂)	多偏波干渉合成開口レーダ(POLInSAR)を用いた水田と都市域の散乱モデルの構築と衛星画像への適用	津田 敏隆 中村 卓司 山口 芳雄	地球環境学堂 新潟大学工学部	1
6	田上 高広 (理学研究科)	鍾乳石と熱帯樹を用いたアジア赤道域の気候・環境変遷の復元	津田 敏隆 杉山 淳司 余田 成男 竹村 恵二 陀安 一郎 中塚 武 渡邊裕美子	理学研究科 生態学研究センター 北海道大学低温科学研究所	1

7	高谷 光 (化学研究所)	ポスト石油リファイナリーのためのメタル化ペプチド触媒によるリグニンの精密酸化分解反応開発	渡邊 隆司 中村 正治	化学研究所	2
8	陀安 一郎 (生態学研究センター)	森林生態系の攪乱回復過程における、食物網炭素動態変化の解明	吉村 剛 内田 昌男 原口 岳	生態学研究センター 国立環境研究所	1, 4
9	徳地 直子 (フィールド科学教育 研究センター)	同位体トレーサーと土壤酵素活性を用いた森林土壌窒素動態の把握	服部 武文	フィールド科学教育研究センター	4
10	矢崎 一史 (生存圏研究所)	熱帯樹木のプレニル化フラボノイド分泌に関わる組織学的解析とミツバチの利用形態	青山 卓史 熊沢 茂則	化学研究所 静岡県立大学生生活健康科学研究科	1, 2
11	山川 宏 (生存圏研究所)	スペースデブリ・地球接近小惑星環境計測のための軌道制御	柴田 裕実 吉川 真 矢野 創 坂東 麻衣 森本 睦子	工学研究科 宇宙航空研究開発機構	3
12	山本 衛 (生存圏研究所)	GNU Radio デジタル・ビーコン受信機と GPS-TEC を用いた中規模電離圏擾乱のトモグラフィ観測	斎藤 昭則 Smitha V. Thampi	理学研究科	1, 3

(1) 揮発性テルペンが媒介する生態系生物間情報ネットワーク

1. 研究組織

代表者氏名：有村源一郎（理学研究科）

共同研究者：矢崎一史（生存圏研究所）・高林純示（生態学研究センター）

2. 研究概要

植物は植食性昆虫などの害虫の食害に抵抗するため様々な防御戦略を発達させている。これらの戦略には、害虫に対する防御物質などを用いた直接的な防衛手段と、植物から放出される揮発性成分（テルペン化合物などの香り成分）を介し、害虫の天敵を誘引する間接的な防衛手段などがある。この防衛戦略の分子メカニズムに関する研究は、生存圏における生物間相互作用ネットワークの解明につながるものであり、生物の適応戦略・多様性メカニズムを解明する手段の一つでもある。本研究では、香り成分の有力候補であるテルペン類（特に、オシメン）の生合成遺伝子を発現させた組み換え植物を作成し、直接防御と間接防御の誘導に関する分子メカニズムの解明を試みた。

(2) ブラマプトラ川流域における生存圏のエコシステムの持続的発展の可能性

1. 研究組織

代表者氏名：安藤和雄（東南アジア研究所）

共同研究者：塩谷雅人（生存圏研究所）・林 泰一（防災研究所）

小林健一郎（生存基盤科学研究ユニット）・橋爪真弘（長崎大学熱帯医学研究所）

寺尾 徹（香川大学教育学部）

2. 研究概要

インド亜大陸北東部のブラマプトラ川流域（図1）は、南アジア、東南アジアの枠組みで区切られ、地域研究の対象として見過ごされてきた地域である。この地域では河川との共生を基礎として従来の生活形態が残っている。この築き上げられてきたエコシステムを、将来的にうまく持続的に発展させる可能性を探ることが本研究の目的である。対象地域であるアッサム、メガラヤ、バングラデシュでは、世界の最多雨で年間 10000mm を越えるような降雨量をもたらすモンスーンが、ブラマプトラ川の本流と大小の支流河川を介して独特の自然環境を特徴づけていて、自然環境適応型の農業生態系などのエコシステムを形成してきた。しかし、近年「近代灌漑農業の拡大」「衛生的な生活を求めた地下水の飲料水源利用」「焼畑の定畑化」「森林伐採」「氾濫原での道路網・堤防の整備」などの開発と発展の追求は、このエコシステムを一変させようとしている。それに連動して、地球規模の気象変動が、これまで経験したことがないような雨季の大洪水害の発生、乾季の地下水灌漑稲作の拡大による飲料用地下水砒素汚染などの環境問題群が発生し健康被害を及ぼすようになった。ここでは、以下の2つの項目について調査研究を進めることにより本地域の持続的発展の可能性を探ることを目的とした。

(1) モンスーン変動の地域水文環境（風水害など）への影響。

(2) 地域的な環境変化の要因となった生態家の変遷過程（農林水産業・生活様式・社会システム・生活インフラ<道路・堤防など>）の件年の変容。

さらに、本研究では、ブラマプトラ川流域を統合的地域としてとらえ、マクロの地球規模気候変動からミクロの村落の農業生態系までを結びつけて、体系的に持続的発展の可能性を探ることが目的である。具体的には、モンスーン気候と気象災害、農業生態をはじめとするエコシステムの関係性をより鮮明に分析するため、気象データと衛星画像（Landsat や Quickbird など）を用いて焼畑、水田などの土地利用を中心とする農業生態系の変化をデジタル画像化し広域に分析した。



図1：対象地域のブラマプトラ流域

(3) 樹木の遺伝的多様性が節足動物群集と生態系機能に果たす役割の解明

1. 研究組織

代表者氏名：大串隆之（生態学研究センター）

共同研究者：加賀田秀樹（生態学研究センター）・内海俊介（生態学研究センター）

矢崎一史（生存圏研究所）・原田英美子（生存圏研究所）

2. 研究概要

西日本に広く分布するジャヤナギを対象として、野外自生個体から挿し木を作って実験圃場に導入し、その後の生長やそれを利用する節足動物群集の構造、落葉の分解速度を調査した。これにより重要な生態系機能である生産、消費、分解の各プロセスの間の連関とそれに対する植物の遺伝子型の効果を評価した。その結果、植食性昆虫による食われやすさと落葉の分解のされやすさの間には、正の相関があることが明らかになった。加えて、ジャヤナギの遺伝子型について、マイクロサテライトマーカーを使用したクロー

ン解析によって評価したところ、ジャヤナギはきわめて少数の遺伝子型から構成されるクローン集団であるという驚くべき結果が得られた。これに伴い、圃場に導入したジャヤナギの多くが同一遺伝子型をもつ個体であったことが判明した。そのため、今回の圃場実験で検出された、食べられやすさと分解のされやすさの関係は、遺伝子型の効果と同一遺伝子型における表現型可塑性の効果の両方を含むものであると推測された。

(4) 活動的火山湖からの湖面蒸発量測定の新手法開発 ―ライダー技術の「安全・安心」への応用―

1. 研究組織

代表者氏名：鍵山恒臣（理学研究科）

共同研究者：中村卓司（生存圏研究科）・寺田暁彦（理学研究科）

橋本武志（北海道大学理学研究院）

2. 研究概要

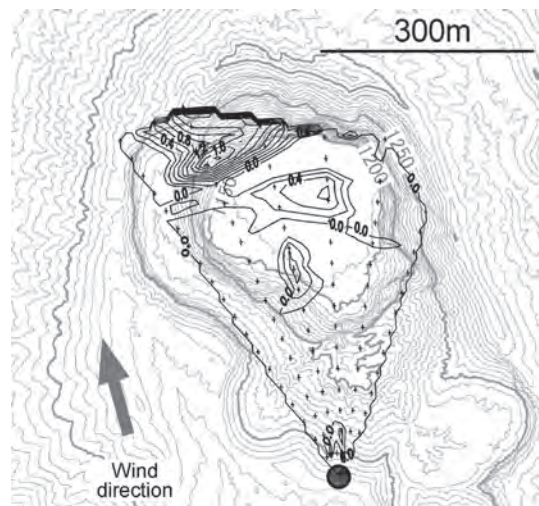
阿蘇火山には、東京ドームの1.5倍の面積を有する火山湖が存在する。湖は水温 70 °C、湖水の pH は 0 前後、全周にわたり比高 150 m の断崖に囲まれるなど、湖は極端に厳しい自然環境にある。この火山湖からは、旧型原発 1 基分に相当する膨大な熱が放出されていると考えられている。このような火山湖から蒸発する水量を精度よく測定することで、火山地下浅部の流体輸送機構を定量的に理解し、火山噴火を予測するための情報が得られる。

そこで、生存圏研究所が開発した可搬型ラマン・ライダーを阿蘇火山に持ち込んで、湖面から蒸発する水蒸気量を測定することを試みた。また、特別なブイを開発、設置して湖水温度を直接測定し、水温から湖面蒸発量を計算した。この計算結果とライダーで測定した湖面蒸発量とを比較することで、阿蘇火山から放出される水蒸気量を、従来よりも高い信頼性の元でモニタリングすることを目指している。

ライダーによる臨時観測の結果、火山湖上空の水蒸気の空間分布が明らかになった（図）。これは、活動的火山に存在する火山湖としては、世界初である。噴煙の移動速度を 3.6 m/s として水蒸気 flux を概算すると、105 kg/s と計算された。

また、阿蘇火山として初めて水温連続観測に成功した（寺田・吉川，2009）。湖面蒸発量は、気象庁の赤外放射温度計による測定結果、および湖面積のモニタリング結果（Terada et al., 2008）などに基づいて、Ryan の式から 73 - 98 kg/s と見積もられる。

このように、ライダーとブイに基づく水蒸気 flux の推定値は、ほぼ同じ値を与えた。一方、2006 年に実施した試験的観測では、ライダー観測の方が小さな値を与えている。正確な湖面蒸発量を知ることは、火山湖を通じた熱活動を評価する上で大きな課題であり、ライダーは、阿蘇において蒸発量を実測する唯一の手段である。ライダーによる水蒸気 flux 計測の確からしさは、風向きと湿度に左右される。今後も研究を継続することで、蒸発量推定の精度向上が期待できる。



図：ライダーによって計測された水蒸気混合比の分布。ここで示したのは、背景の混合比からの増加分である。

(5) 多偏波干渉合成開口レーダ (POLInSAR) を用いた水田と都市域の散乱モデルの構築と衛星画像への適用

1. 研究組織

代表者氏名：須崎純一（地球環境学堂）

共同研究者：津田敏隆（生存圏研究所）・中村卓司（生存圏研究所）
山口芳雄（新潟大学工学部）

2. 研究概要

近年、衛星搭載型の多偏波合成開口レーダ(Polarimetric Synthetic Aperture Radar: POLSAR)が定常運用され、幅広い応用可能性が研究されている。本研究では、POLSAR による水田と都市のモニタリング手法の確立を念頭に置いて、電波暗室におけるマイクロ波散乱計測と、水田と都市のマイクロ波散乱モデルの確立を試みた。

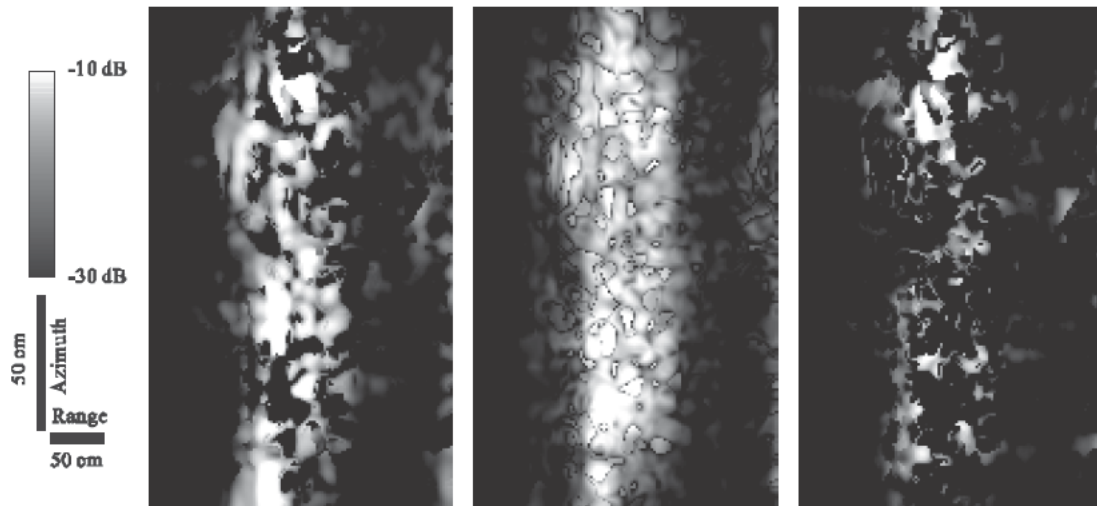


図1：「体積含水率49%、イネ4株」の状態での2回反射（左）、体積散乱（中）、表面散乱（右）の電力値（dB表示）

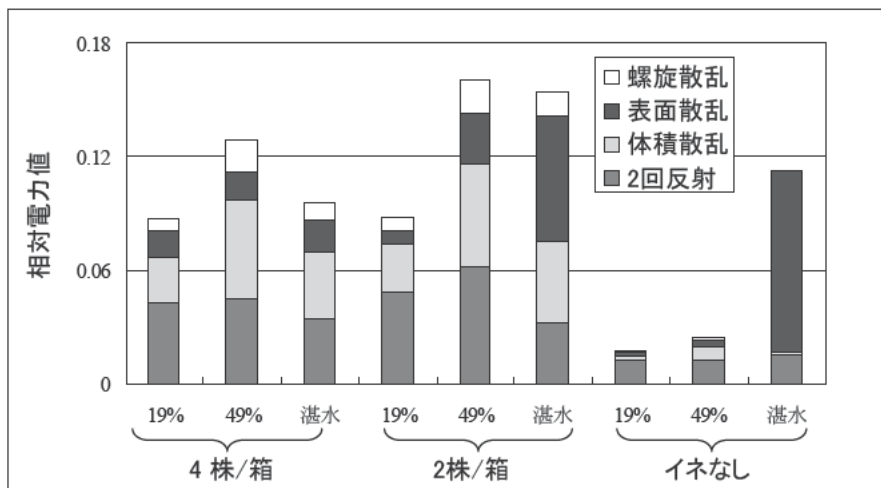


図2：イネの株数と土壌条件を変えたときの後方散乱の正規化電力値。「19%」「49%」は体積含水率を意味する。

(6) 鍾乳石と熱帯樹を用いたアジア赤道域の気候・環境変遷の復元

1. 研究組織

代表者氏名：田上高広（理学研究科）

共同研究者：津田敏隆（生存圏研究所）、杉山淳司（生存圏研究所）、
余田成男（理学研究科）、竹村恵二（理学研究科）、
陀安一郎（生態学研究センター）、中塚 武（北海道大学低温科学研究所）、
渡邊裕美子（理学研究科）

2. 研究概要

本プロジェクトでは、赤道域での鍾乳石データと熱帯樹成長輪データの高精度対比を行うことにより、「赤道域での多面的かつ高精度な気候・環境変遷の復元」を目指している。インドネシア・ジャワ島において、過去50年分の鍾乳石の炭素・酸素同位体時系列データと降水量との比較を行い、鍾乳石が降水量の指標となることを明らかにした。それと平行して、降水量データの無い、より古い時代の試料の分析を進め、エルニーニョ南方振動やインド洋ダイポール現象に代表される、熱帯域の気候・環境変動イベントに伴う降水量の変動を過去にさかのぼって復元することを現在試みている。同様の研究を樹木においても展開しており、鍾乳石と樹木の双方を利用して、それぞれ長期的（数年～1万年オーダー）、短期的スケール（季節オーダー）での降水量変動の解明を進める。

(7) ポスト石油リファイナリーのためのメタル化ペプチド触媒によるリグニンの精密酸化分解反応開発

1. 研究組織

代表者氏名：高谷 光（化学研究所）

共同研究者：渡辺隆司（生存圏研究所）・中村正治（化学研究所）

2. 研究概要

本研究ではバイオリファイナリーによる芳香族系化合物の生産を目的として、リグニン中の脂肪族炭素鎖を選択的に切断して低分子量の芳香族有機分子を与える新しいタイプの触媒開発を目指すものである。具体的には側鎖に触媒金属が化学結合した人工アミノ酸／ペプチドの開発とおよびこれらを用いるリグニンの触媒的分解反応に関する基礎研究を行った。

(8) 森林生態系の攪乱回復過程における、食物網炭素動態変化の解明

1. 研究組織

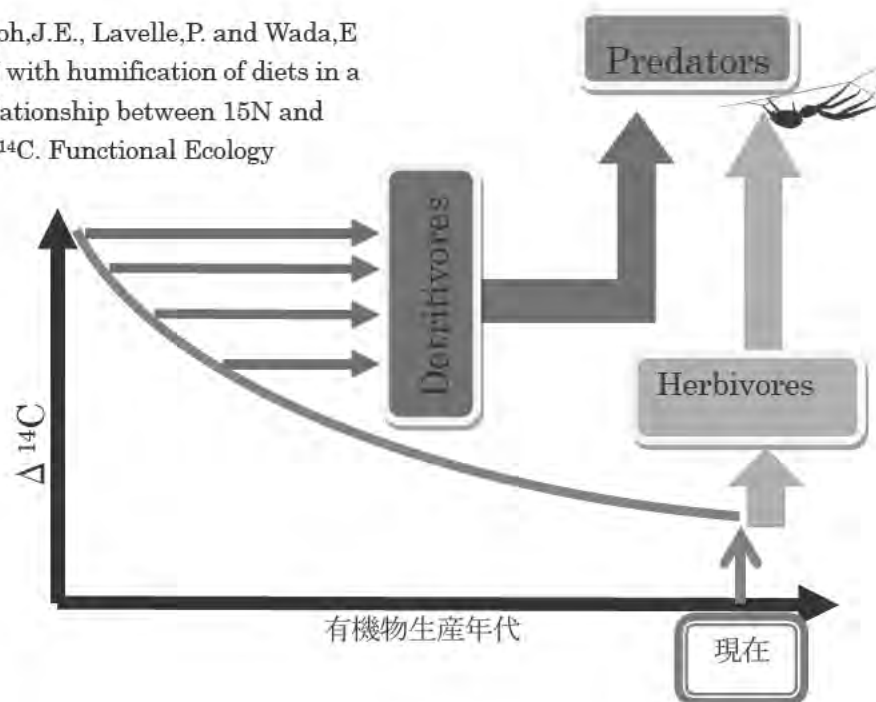
代表者氏名：陀安一郎（生態学研究センター）

共同研究者：吉村 剛（生存圏研究所）・原口 岳（生態学研究センター）
内田昌男（独）国立環境研究所）

2. 研究概要

生食―腐食食物網経路からなる炭素循環系の観点から、陸域生態系の構造及び維持機構を解明する事は、人類による資源利用の在り方を評価する上での重要な課題である。本研究では、特に森林伐採後の攪乱回復過程において陸域の食物網構造がどのように変化するのかに着目し、局所的な食物網構造の頂点にたつ分類群としてクモ類を対象に研究を行った。Hyodo et al.¹⁾が示したように、土壌有機物は分解に伴って同位体濃縮を生じ、分解の進んだ有機物はより昔に固定された有機物である。また、生物の同位体値は摂食する有機物の同位体値を反映する。そこで、本年度はクモ類の安定同位体比および炭素放射性同位体比を分析し、その結果からクモ類の利用するエサには腐植由来のものが含まれる事が分かった。また、腐食食物網経路への依存度は、攪乱回復過程で変化すると同時に、樹間に生息するか地表に生息するか、という住み場所の違いによっても生じる事が分かった。

¹³Hyodo, F., Tayasu, I., Tondoh, J. E., Lavelle, P. and Wada, E. Gradual enrichment of ¹⁵N with humification of diets in a below-ground food web: relationship between ¹⁵N and diet age determined using ¹⁴C. *Functional Ecology* 22:343-351, 2008



(9) 同位体トレーサーと土壌酵素活性を用いた森林土壌窒素動態の把握

1. 研究組織

代表者氏名：徳地直子（フィールド科学教育研究センター）

共同研究者：服部武文（生存圏研究所）

2. 研究概要

森林生態系の生態系サービスは、そのなかで最大のバイオマスをもつ樹木と大気・水・土壌などの環境との間の物質循環によって形成される。中でも窒素の循環は、生物にとって不可欠な多量必須元素であると同時に、有機態・無機態・正荷電 (NH_4^+)・負荷電 (NO_3^-) などその形態をさまざまに変化させることにより、他の物質にも大きな影響を与える。申請者らのこれまでの研究により、森林生態系における窒素収支は樹木の生育段階によって大きく変化することが明らかになった。しかしながら、これまでの方法では生態系内部の微生物体への取り込み速度や他の養分物質との関係が明らかにされておらず、窒素収支が変化するかについて十分な説明ができなかった。

そこで、本研究では、従来無視されてきた微生物の取り込み速度を同位体トレーサーから推定し、森林における窒素循環様式の変化が、植物と競合関係にある微生物が寄与しているためか、あるいは、他の制限要因が生じているのか、などの考察を行う。

(10) 熱帯樹木のプレニル化フラボノイド分泌に関わる組織学的解析とミツバチの利用形態

1. 研究組織

代表者氏名：矢崎一史（生存圏研究所）

共同研究者：青山卓史（化学研究所）・熊沢茂則（静岡県立大学食品栄養科学部）

2. 研究概要

植物は動物や昆虫の栄養となるだけでなく、昆虫などの生活の場を提供し、また自らを食害などから守る多くの生理活性成分を作り、活性天然物としてこれを人類に供給している。人間と昆虫と植物の関わりを考えたとき、最も古い歴史があるのはミツバチによる蜂蜜などの採集である。ハチの集める植物生産物

には蜜以外に「プロポリス」と呼ばれる樹脂状物質があるが、これには抗菌、高ウイルス、消炎、抗酸化など多様な活性が古くから知られ、最近では人間生活の質の向上(QOL)にメリットのある天然資源として、大きな注目を集めている。本研究では、国内産プロポリスの中でも最強の抗酸化活性を示す沖縄産プロポリスに着目し、その原料植物が熱帯樹木のオオバギであるとの最新の知見を基盤に、有用成分であるプレニル化フラボノイドのオオバギにおける蓄積の特徴を組織化学的に明らかにすることとした。またこうした化合物を集めるためのミツバチの利用について検証した。

(11) スペースデブリ・地球接近小惑星環境計測のための軌道制御

1. 研究組織

代表者氏名：山川 宏（生存圏研究所）

共同研究者：坂東麻衣（生存圏研究所）・柴田裕実（工学研究科）

吉川 真（宇宙航空研究開発機構）・矢野 創（宇宙航空研究開発機構）

森本睦子（宇宙航空研究開発機構）

2. 研究概要

地球に非常に接近する可能性がある小惑星が近年多数見つかっており、これら地球接近小惑星の詳細な研究が必要となっています。しかし、従来の惑星探査の手法では、1つの探査機で数年間のミッション期間中に最大数個の小惑星しか探査することができず、その効率を上げることが望まれています。そこで太陽光圧を推進力に変換するソーラーセイルを利用することにより、網羅的な近地球型小惑星近傍との会合と観測を実現する手法を提案検討し、その実現性を確認しました。

(12) GNU Radio デジタル・ビーコン受信機と GPS-TEC を用いた中規模電離圏擾乱のトモグラフィ観測

1. 研究組織

代表者氏名：山本 衛（生存圏研究所）

共同研究者：斎藤昭則（理学研究科）・Smitha Thampi（生存圏研究所）

2. 研究概要

我々は、夏季の夜間に頻繁にあらわれる中規模電離圏擾乱(Middle-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID)の構造を研究している。日本全国に千地点以上に展開するGPS受信機網GEONETから求められる全電子数(Total Electron Content; TEC)の水平分布から、MSTIDが北西から南東に延びる波面を持ち水平伝搬方向が南西方向に集中するという特徴が明らかになってきた。しかしMSTIDの鉛直構造については理解が不十分である。TECの観測手法として、衛星から2波(あるいは3波)のビーコン電波を送信し地上でその位相差を測定するという衛星ビーコン観測がある。高度数百kmから千km程度を飛行する、いわゆる低軌道衛星が使用されるため、地上から見た一回の衛星パスが10~15分間と短時間である。衛星パスに沿って多点観測を行い、トモグラフィ解析を行うことによって、衛星パスに沿った電子密度分布の鉛直分布が推定可能である。

本研究では、地上GPS受信機網と新規の衛星ビーコン多地点観測を組合せ、MSTIDの空間構造を明らかにすることを目的として実施した。具体的には、7~9月の期間、我々が開発したデジタル・ビーコン受信機(既製品に比べて価格が1/10かつ高性能)を潮岬・信楽・福井の3地点に設置し観測した(図1)。図2に電離圏電子密度のトモグラフィ解析結果を示す。(a)~(h)がそれぞれ2008年7月10日12:00UT, 23:00UT, 7月11日06:15UT, 08:10UT, 10:00UT, 12:15UT, 20:00UT, 22:00UTに対応している。緯度範囲28度~41度において電子密度分布が良好に推定された。(a), (e), (f)は夜間に当るが、MSTIDと見られる緯度高度構造が現れている(特に(a)と(f)で顕著)。日中の(c)と(d)については、低緯度側に電子密度の増大が見られる。これは電子密度の大規模分布が磁気緯度10度付近で最大となる、いわゆる赤道異常といわれる分布の北側の様子を捉えたものである。

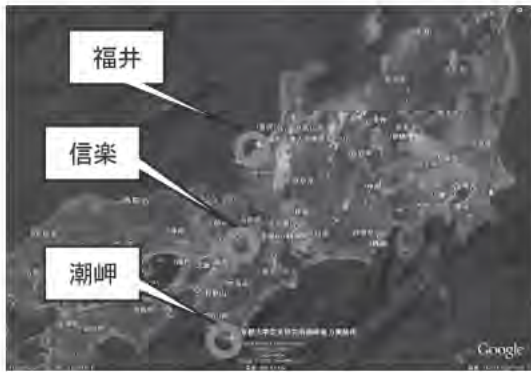


図 1: ビーコン受信機の配置図。衛星パスは南北に近いいためトモグラフィ解析に適している。

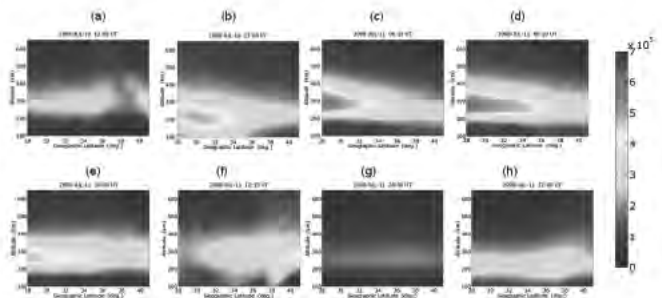


図 2: 2008 年 7 月 10~11 日の観測からトモグラフィ解析で得られた電子密度分布の緯度・高度分布。

2.4 平成 20 年度 オープンセミナー

回数	開催月日	演 者	題 目	
71	6 月	11 日	山本 衛 (生存圏研究所・教授)	GNU Radio に基づく電離圏観測用衛星ビーコン受信機の開発
72		25 日	孫 暁剛 (東南アジア研究所・特定助教)	東アフリカ牧畜社会における不確実性への対応とリスクマネジメント
73	7 月	9 日	上出 洋介 (生存圏研究所・特任教授)	地上磁場データから宇宙天気図をつくる
74		16 日	高橋 けんし (次世代開拓研究ユニット・助教)	大気圏・森林圏における微量成分の変質過程に関する研究 —新しいレーザー分光計測技術の開拓—
75		23 日	園部 太郎 (ミッション専攻研究員)	マイクロ波加熱による材料プロセッシングの萌芽研究
76		30 日	原田 英美子 (ミッション専攻研究員)	重金属蓄積植物 分子機構の解明と環境浄化への応用
77	9 月	10 日	大橋 康典 (ミッション専攻研究員)	アカシア材の化学資源化を目指したマイクロ波およびその増感剤を利用した反応系の開発
78		17 日	坂東 麻衣 (ミッション専攻研究員)	スペースデブリ・地球接近小惑星環境計測のための軌道制御
79		24 日	IV Subba Reddy (ミッション専攻研究員)	Retrieval of Water vapor with COSMIC data by using 1D-var analysis and comparison with different observational platforms (Aqua, COSMIC, NCEP and ECMWF)
80	10 月	1 日	高谷 光 (化学研究所・准教授)	メタル化ペプチドを用いる金属の精密集積制御

81	10月	15日	Sasa Sofyan Munawar (ミッション専攻研究員)	Development of new plastic-like molded products from acacia mangiumbark and natural acid reinforced with non-wood plant fibers
82		22日	有村 源一郎 (理学研究科・准教授)	植物の食害防衛メカニズム 直接防衛と間接防衛
83		29日	田上 高広 (理学研究科・教授)	鍾乳石と熱帯樹を用いたアジア赤道域の気候・環境変遷の復元
84	11月	5日	鍵山 恒臣 (理学研究科・教授)	火山活動の予測に関する研究の現状と展望 ーマグマからの脱ガスを捉えるー
85		19日	徳地 直子 (フィールド科学教育研究センター・ 准教授)	森林施業が森林生態系に与える影響
86		26日	大串 隆之 (生態学研究センター・教授)	生物多様性を生み出す生態系ネットワーク
87	12月	9日	寺田 暁彦 (理学研究科・研究機関研究員)	火山における水輸送を捉える～マグマから大気へ
88		17日	矢崎 一史 (生存圏研究所・教授)	熱帯樹木のプレニル化フラボノイド分泌に関わる組織学的解析とミツバチの利用形態
89		24日	山川 宏 (生存圏研究所・教授)	ソーラーセイルによる地球接近小惑星サーベイ観測
90	1月	14日	須崎 純一 (地球環境学堂・准教授)	多偏波干渉合成開口レーダ(POLSAR)を用いた水田と都市域の散乱モデルの構築と衛星画像への適用
91		21日	陀安 一郎 (生態学研究センター・准教授)	森林生態系の攪乱回復過程における食物網構造の変化：安定同位体解析による推定
92		28日	林 泰一 (防災研究所・准教授)	インド亜大陸北東部のブラマプトラ川流域における自然環境とエコシステムについて

2.5 シンポジウムの開催

(1) 生存圏研究所ミッション推進シンポジウム

日時：平成20年12月10日(水)9時30分～16時

場所：京都大学宇治キャンパス 北4号棟4階 エネルギー理工学研究所大会議室

プログラム

9:30	所長挨拶	川井秀一
9:40	ミッション推進委員会報告	大村善治
9:50	ミッション1：環境計測・地球再生	矢崎一史

10:20	ミッション2：太陽エネルギー変換・利用	橋本弘蔵
10:50	ミッション3：宇宙環境・利用	山川 宏
11:20	ミッション4：循環型資源・材料開発	小松幸平
13:00	インターミッション報告	矢野浩之
13:30	学際萌芽研究センター 活動報告	渡辺隆司
14:00	開放型研究推進部 活動報告	塩谷雅人
14:40	パネルディスカッション ミッションの検討 概算要求・拠点 概算要求・設備要求 プロジェクト	津田敏隆、今村祐嗣

(2) 生存圏萌芽・融合ミッションシンポジウム

日時：平成21年3月19日(木) 午前9:30～

場所：京大大学生存圏研究所 木質ホール

プログラム

- 9:30 挨拶 川井秀一（京大大学生存圏研究所長）
- 9:35 渡辺隆司（京大大学生存圏研究所 生存圏学際萌芽研究センター長）
生存圏学際萌芽研究センター活動の概要
- [ミッション専攻研究員]
- 9:45 大橋康典
アカシア材の化学資源化を目指したマイクロ波およびその増感剤を利用した反応系の開発
- 10:00 坂東麻衣
スペースデブリ・地球接近小惑星環境計測のための軌道制御
- 10:15 原田英美子
樹木を用いた重金属汚染土壌のファイトレメディエーション法の開発研究
- 10:30 Sasa Sofyan Munawar
Development of new plastic-like molded products from acacia mangium bark and natural acid reinforced with non-wood plant fibers
- 10:45 Mahabubur Rahman
Regeneration and Genetic Transformation of *Acacia mangium*
- 11:00 園部太郎（京都大学エネルギー科学研究科）
脱化石資源を目指したマイクロ波利用による材料(木質バイオマス材料・セラミックス・金属材料)のエネルギー・化学物質変換サーマルプロセスの開発
- 11:15 井口一成
光感応触媒を用いたバイオマス資源からの有用物質生産プロセスの開発
- [萌芽ミッションプロジェクト]
- 11:25 陀安一郎（京大大学生態学研究センター）
森林生態系の攪乱回復過程における、食物網炭素動態変化の解明

- 11:37 山川 宏 (京都大学生存圏研究所)
スペースデブリ・地球接近小惑星環境計測のための軌道制御
- 11:49 山本 衛 (京都大学生存圏研究所)
GNU Radio デジタル・ビーコン受信機と GPS-TEC を用いた中規模電離圏擾乱の
トモグラフィ観測
- 13:20 有村源一郎 (京都大学大学院理学研究科)
揮発性テルペンが媒介する生態系生物間情報ネットワーク
- 13:32 安藤和雄 (京都大学東南アジア研究所)・林 泰一 (京都大学防災研究所)
ブラマプトラ川流域における生存圏のエコシステムの持続的発展の可能性
- 13:44 大串隆之 (京都大学生態学研究センター)
樹木の遺伝的多様性が節足動物群集と生態系機能に果たす役割の解明
- 13:54 寺田暁彦・鍵山恒臣 (京都大学大学院理学研究科)
活動的火山湖からの湖面蒸発量測定の新手法開発
ーライダー技術の「安全・安心」への応用ー
- 14:06 須崎純一 (京都大学大学院地球環境学学)堂)
多偏波干渉合成開口レーダ (POL SAR) を用いた水田と都市域の散乱モデルの構築と
衛星画像への適用
- 14:18 高谷 光 (京都大学化学研究所)
ポスト石油リファイナリーのためのメタル化ペプチド触媒によるリグニンの精密酸化分解
反応開発
- 14:30 田上高広 (京都大学大学院理学研究科)
鍾乳石と熱帯樹を用いたアジア赤道域の気候・環境変遷の復元
- 14:42 矢崎一史 (京都大学生存圏研究所)
熱帯樹木のプレニル化フラボノイド分泌に関わる組織学的解析とミツバチの利用形態
- 14:54 徳地直子 (京都大学フィールド科学教育研究センター)
同位体トレーサーと土壌酵素活性を用いた森林土壌窒素動態の把握

3. 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

ミッション研究の活動内容

「環境計測・地球再生」を進めるミッション1では、大気圏を中心とした現在の生存圏の状態を先端計測に基づいて正確に把握すると共に、環境を保全しつつ森林圏で生産されるバイオマス資源の持続的な蓄積・利活用を進める研究をおこなっている。平成20年度からは全国・国際共同利用設備である持続可能生存圏開拓診断 (Development and assessment of sustainable humanosphere; DASH) システムも運用を開始し、ミッション1とも密接に関連して、遺伝子組換え植物対応型の大型温室と集中的な評価分析機器を用いた研究も始まっている。さらに学内の予算処置を受けて、次の2で述べるような萌芽的・試験的な研究をおこなっている。

研究課題

平成20年度には以下7件の研究課題を採択した(括弧内は研究代表者)

- ・東南アジア域における赤道スプレッドF現象の発生予測(山本衛)

- ・熱帯実用植物の分子育種基盤構築(梅澤俊明)
- ・イソプレン放出植物の耐熱性機構と持続可能農業のための分子育種(矢崎一史)
- ・小型衛星による GPS 電波掩蔽観測(津田敏隆)
- ・木材組織学と同位体化学の融合によるヒノキ年輪を用いた古気候復元の試み (杉山淳司)
- ・森林が雨を降らせるメカニズム(林隆久)
- ・ポリガラクチュロナーゼ構成発現体植物の微細構造解析(馬場啓一)

平成20年度に重点的に予算配分された研究活動と成果

特に重点的に予算配分された研究課題(上記の最初の2件)を中心に、研究活動と成果を以下に報告する。

「東南アジア域における赤道スプレッドF現象の発生予測」

本研究では、SEALION 観測点に、我々が独自に開発してきた衛星ビーコン観測用のデジタル受信機 GRBR を設置し、ESF の発生前後の電離圏全電子密度の緯度・経度構造を明らかにしようとした。具体的には、2009年1~3月の期間に、ベトナム、インドネシア、タイの3ヶ所に GRBR を設置し、観測を開始した。

「熱帯実用植物の分子育種基盤構築」

具体的成果として3点が挙げられた。1) 熱帯アカシア(マンギウムなど)の個体再生および形質転換条件について検討し、nodular callus あるいはシュートの再生に成功した。2) アカシア・マンギウムの分化中木部およびシュートより cDNA ライブラリを作製し、EST データベースを作成した。3) 木質バイオマス形成を統御する因子をコードする遺伝子の候補を取得し、形質転換個体を作成してリグニンおよび生合成前駆体の含量を測定した。

「イソプレン放出植物の耐熱性機構と持続可能農業のための分子育種」

イソプレンの放出が植物の高温耐性と深く関わっていることを突き止め、イソプレン放出が植物に高温耐性を付与することができるかについて調べた。

「小型衛星による GPS 電波掩蔽観測」

「GPS 掩蔽法」について、データ解析、データベース構築ならびにデータの科学・実利用に関する研究を行った。

「木材組織学と同位体化学の融合によるヒノキ年輪を用いた古気候復元の試み」

ヒノキ材試料の酸素・炭素などの同位体比の推移を明らかにし、気候データや古文書の記載などとの相関から、わが国における古気候復元の可能性について検討した。

「森林が雨を降らせるメカニズム」

葉の表層に棲息する微生物が大気中に舞い、その細胞壁表層で水が凝集して水滴になるという仮説のもと、葉の表面に棲息する微生物と雨の中の微生物との関連性を調べた。

「ポリガラクチュロナーゼ構成発現体植物の微細構造解析」

ポプラを用いてポリガラクチュロナーゼを構成発現させる植物体作出し、その伸長成長、肥大成長を野性型と比較したところ、茎の伸長成長が野性型よりも遅いことが分かった。

ミッション 2: 太陽エネルギー変換・利用

ミッション研究の活動内容

化石資源依存型社会から太陽エネルギー依存型持続的社會への変革を目指し、炭素循環系に負担がかからない革新的技術の開発を行う。すなわち、太陽エネルギーの変換・利用手法を多角的に研究し、化石資源に依存した社会からの脱却をはかることを目的とし、CO₂削減に繋がる宇宙太陽発電とバイオマスのエネルギー・化学資源化の基盤技術を構築するため、太陽エネルギーの直接的利用である宇宙太陽発電所(SPS)の根幹技術としてのマイクロ波送電技術の開発、微生物・熱化学的方法を用いた木質バイオマスのバイオフェューエル、バイオケミカルス、高機能炭素材料への変換に取り組む。

研究課題

マイクロ波送受電技術の関連では、マイクロ波ビーム制御技術やその屋外実験システム、低電力用ならびに高電力用の高効率受電システム、ユビキタス電源、電気自動車無線充電システム、建物内無線配電システムの開発などを行ってきた。木質バイオマスからの機能性材料生産に関しては、自己放熱性炭素基板材料の開発を行った。マイクロ波加熱技術の応用としてエタノール生産をはじめとしたバイオマス変換、ポリマーの発酵生産、高機能材料プロセス装置の開発を行ってきた。このうち、微生物・マイクロ波複合処理による木質バイオマスからバイオエタノールを生産する研究は、萌芽ミッションプロジェクトとして開始したが、NEDOの支援を得て、ベンチプラントを建設するプロジェクトに発展した。平成20年度は、連続式マイクロ波照射装置を開発した。また、経済産業省の地域イノベーション創出研究開発事業を通して、スギ材からバイオエタノールを生産するための湿式粉碎酵素糖化前処理法のベンチプラントを建設し、実証試験を実施した。また、シロアリおよびその腸内微生物を利用した水素およびメタンの発酵プロセスの解析と応用研究、バイオマス変換にとって有用な担子菌の木材腐朽機構の解析や高効率形質転換法の開発研究を実施した。

平成20年度に重点的に予算配分された研究活動と成果

研究課題	研究課題:成果	研究代表者
1	飛行船を用いたマイクロ波による電力無線伝送技術に関する研究： 世界で初めて、飛行船（高度 30m）から地上に向けて、マイクロ波による無線電力伝送実験に成功した。その後、公開実験も行った。	山川宏
2	マイクロ波加熱による高機能材料プロセス装置の開発： 装置の改良を行い、二酸化チタンのカーボンフリーマイクロ波還元反応プロセスの研究開発や、有機薄膜太陽電池のマイクロ波アニーリングの研究を行った。	三谷友彦
3	レトロディレクティブシステムの屋外実験： 総務省からの免許を受け、暗室内では 5.4m だった伝搬距離が屋外では 25m で、8 素子 10mW のアクティブフェーズドアレイを用いて実験することができた。	橋本弘藏
4	宇宙太陽発電での利用をめざした熱伝導自己制御型の熱電変換炭化ケイ素複合材料の開発： 二酸化ケイ素と炭素を液相で反応させ、炭化ケイ素ロッドを含む多孔性 SiC/C 複合材料を作製し、放熱と発電を両立させる木質系エコ材料を開発した。	畑俊充

ミッション 3：宇宙環境・利用

ミッション研究の活動内容

本ミッションでは、宇宙空間に存在するプラズマ、宇宙線、惑星間物質等に関する研究を発展させるとともに、それらが生命体、材料等に与える影響を検討する。同時に、宇宙機の軌道力学、ミッション解析に関する研究を深めることにより、地球近傍の宇宙空間の環境調査と月および惑星の探査技術の開発、並びにそれらの環境を利用した宇宙システムに関する研究を行う。宇宙および室内での実験と計算機実験を駆使して、宇宙自然環境・飛翔体環境の定量解析、さらには、これらの環境下での木質系新素材の開発、宇宙空間利用などの研究を推進し、宇宙空間を人類の新たな生活圏に拡大していくための技術基盤の構築を目指す。

研究課題

ミッションプロジェクトとして、小型宇宙電磁環境モニター装置の開発、宇宙プラズマ計測のための波

動粒子相関計測器の開発、月周回衛星「かぐや」による波動解析、宇宙用導電軽量木質材料の開発、イオンエンジンにおけるビーム中和電子粒子解析、超伝導コイルを用いた磁気セイル宇宙機の推力特性の基礎研究、太陽光圧を利用したソーラーセイル宇宙機の軌道ダイナミクス、衛星帯電を利用した宇宙機の位置制御に関する基礎的研究を行った。これらの学際・萌芽的研究は、ミッションプロジェクトとして所内研究費を利用して開始した。また、宇宙環境解析に関連した研究プロジェクトとしては、宇宙環境シミュレータ、特に衛星環境プラズマ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を推進した。また、宇宙プラズマの階層型粒子シミュレーション技術の開発、および、その磁気セイル宇宙機の推力発生メカニズム解析への応用に関しての研究を推進した。これらは、基本的には、競争的外部資金を用いて推進しており、他大学や研究機関の関連研究者との共同研究プロジェクトである。

平成 20 年度に重点的に予算配分された研究活動と成果

研究課題	研究課題:成果	研究代表者
1	宇宙環境・利用のための宇宙航行力学に関する研究： 太陽光圧を利用したソーラーセイル宇宙機による地球近傍小惑星フライバイ探査の手法を構築した。	山川宏
2	宇宙空間における波動粒子相互作用の直接検出に関する研究・開発： プラズマ波動と粒子を衛星機上でデータ処理する模擬装置の開発を行い、実現可能な処理性能を示した。	上田義勝
3	磁気セイル宇宙機用超伝導電磁石の研究： 太陽風エネルギーを推進力に変換する磁気セイル宇宙機に用いる超伝導コイルの実験装置の開発を行った。	山川宏
4	新しい燃料電池素材・燃焼性ガスセンサー利用としての R 型二酸化マンガンの電気特性解析： 常温下における水素ガスセンサーとしての特性を計測する事でその実現可能性を示し、電気特性の基礎解析を行った。	上田義勝
5	科学衛星搭載電界センサー特性に関する電磁粒子シミュレーション解析： 宇宙プラズマ環境および衛星からの光電子環境における電界センサー特性を電磁粒子シミュレーションで解析する手法を構築した。	臼井英之
6	電磁粒子モデルを用いた高周波発生装置数値シミュレータの開発： マイクロ波発生用電子管であるマグネトロン内部の電子—電磁界相互作用を 3 次元的に再現しマイクロ波発生過程を定量的に評価できる数値シミュレータの構築を行った。	臼井英之
7	月周回衛星「かぐや」の波動解析： 「かぐや」に 1MHz 以下の波動観測装置を搭載し、月周辺とりわけウエイクの影響を受けた静電波動や掩蔽を利用した地球からの波動観測と解析を行った。	橋本弘藏
8	導電軽量炭素材料からなる宇宙環境モニター用筐体部の作成と木質炭素化物の酸化腐食性の検討： 導電軽量炭素材料からなる宇宙環境モニター用筐体部作製のための人造黒鉛製板材料を作製した。	畑俊充

ミッション 4：循環型資料・材料開発

ミッション研究の活動内容

平成18年に完成した木造エコ住宅は、耐震性や断熱性、エネルギー消費の面で改善すべき点が多々指摘され、真のエコ住宅とは言えない状況にある。これらの弱点を改善し、長寿命で環境への負荷が少ない「真の木造エコ住宅」に相応しい住宅を実現することを目標として、平成20年度は、「木造エコ住宅の耐震性向上と省エネルギー・長寿命化を可能とする研究」という一つの目標を定めて活動を行った。

研究課題

全部で11の小研究課題が提案された。その内、特に予算を必要としない文献調査を主たる研究内容とする小課題を除く小課題6件に対し、合計250万円の予算（平成19年度実績は280万円）を配布した。

平成20年度に重点的に予算配分された研究活動と成果

「小課題1：天然系超軽量素材を用いた断熱材料の開発」

超低比重（ $\rho=0.023$ ）天然素材系材料を住宅の断熱性能向上に適用させるための研究を行った。

「小課題2：Energy Harvestingを利用した低環境負荷給電システム」

無線電力伝送技術を応用したEnergy Harvestingにより有線、電池等の資源を不要とする新しい低環境負荷給電システムの開発を行った。

「小課題3：木材の大気浄化機能と調湿機能の開発」

スギ材木口面の NO_2 、 O_3 など大気汚染物質の吸着機能や調湿機能を最大限に活用するための切削、加工技術の開発と共に、外構材や内装材として実用化するための技術開発を行った。

「小課題4：高強度木質系ナノ材料の開発」

建築用途やサブ課題5に使用できる安価で高強度のセルロースナノファイバー補強材料の開発研究を行った。

「小課題5：自動劣化検出システムと自己修復機能を装備した住宅の長寿命化と温故知新的技術による住宅快適化の検討」

今まで要素・個別技術として開発してきた劣化診断技術と保守管理技術を集約化して組み込むことにより住宅の長寿命化をはかる。また、ブラインドや散水による住宅の快適性維持の効果に学術的な検討を加えた。

「小課題6：超長期住宅の設計に資する歴史的建築物由来木材の学術情報収集」

歴史的建造物に使われている木材を調べることで、どのような木材の使い方や樹種が高耐久性を生み出すのかヒントを貰うことができるとの考えに基づき、歴史的建築物由来木材の学術情報を収集・整理した。

インターミッション

生存圏研究所は、「圏」の概念に基づき、生存圏の科学的診断と治療技術による、地球環境と人間活動の共存を目指している。その中で、インターミッションは、生存圏科学の創成に向けて、圏間を結ぶ融合プロジェクトを遂行する重要な場である。現在は、大気圏－森林圏－人間生活圏を結んだ先導的プロジェクトとして、インドネシア・スマトラ島やマレーシア・ボルネオ島の大規模産業造林をフィールドに「アカシアプロジェクト」を行っている。

アカシアプロジェクト ー熱帯人工林の環境貢献とその持続的生産・利用ー

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い、大気圏・森林圏の圏間相互作用を明らかにするとともに、それに基づく、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技術について研究してい

る。

平成16年度からインドネシア、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、アカシア造林地の複数ヶ所に気象観測器の設置を進め、降雨量等のデータ収集・解析を行っている。また、インドネシア科学院生命科学部門、産業造林を管理運営しているMUSI HUTAN PERSADA社ならびに京都大学生存圏研究所の三者間でMOUを締結し、アカシアマンギウム植林地における持続的生産と林産物利用に関する研究について共同研究を進めている。20年度には、森林バイオマス生長量評価に関してこれまで実施してきた地表データによる評価および気温や降雨量に関する気象データ収集に加え、衛星データを用いた広域森林バイオマスのリモートセンシングによる評価手法の開発に着手した。また、アカシアマンギウムのESTデータベース作成とアカシアマンギウムなどの形質転換系構築を進めた。さらに、インドネシア科学院 (LIPI) との共同研究で、アカシアマンギウムの遺伝子組換え法として新しいユニークな技術を開発した。

一方、グローバルCOEプログラム「生存基盤持続型の発展を目指す地域研究拠点」において、東南アジア研究所と協働で人文・社会経済的な視点を加えた文理融合・問題解決型の統合研究サイトとして新たな展開を目指しつつある。その中で、インドネシア、スマトラ島リアウ州にある自然林、観光林および SinarMas 社の産業人工林が複合した Riau Biosphere Reserve (78 万 ha) において、リアウ大学、インドネシア科学院 (LIPI)、林業省などと共同研究を展開するための準備を進めた。

このほか、平成 19 年度に KM HYBRID PLANTATION SDN BHD 社と熱帯域の持続的林業経営と生産に関する覚書を交換し、これに伴って、同社のマレーシア、サバ州における用材生産を目指したアカシアハイブリッド林 (約 4,000ha) において、気象測器の設置、バイオマス生産の調査、ならびにシロアリの生息 (生物多様性) 調査を開始した。20 年度は、バイオマス生長量の地表データを集積するとともに、アカシアマンギウムおよびハイブリッド 2, 3 年生の部位別樹木バイオマスを調査した。また、地域の生物多様性評価のためにシロアリと菌類を指標とした生物多様性調査を実施した。加えてアカシア材の利用に関する種々の評価を実施した。

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/reports/tenken2008.pdf>にて公開されている。以下は平成 20 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 20 年度自己点検評価報告書目次

序

1. 研究所の理念	1
1.1 研究所の理念	1
1.2 研究所の目標	1
2. 研究活動	3
2. 1 研究組織	3
2. 2 研究内容	7
2. 3. 研究業績	78
2. 4. 招待講演等	109
3. 教育活動	156
3. 1 大学院・学部における教育目標	156
3. 2 教育内容(特論など)	157
3. 3 教育活動の成果	158
4. 教員組織	161
4. 1 人員配置	161
4. 2 採用	161
4. 3 人事交流	162
5. 管理運営	165
5. 1 研究所の意思決定	165
5. 2 研究所の組織	180
6. 財政	184
6. 1 予算	184
6. 2 学外資金	184
7. 施設・設備	186

8. 学術情報	192
9. 国際学術交流	196
10. 社会との連繫	201
11. 評価	224

生存圏研究 第5号

発行日	平成21年10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	株式会社 田中プリント 京都市下京区松原通藪屋町東入

