

生存圈研究



No. 4

2008年



京都大学 生存圈研究所



目次

総説

きのこの代謝のひみつとその環境浄化への応用	1
	服部 武文
腐れとシロアリ食害から家を守る	11
	角田 邦夫
レーダーで探る大気の流れ	19
	橋口 浩之
人類が生存する宇宙圏の 2050 年の姿を予想する	27
	山川 宏

資料

歴史的建造物由来古材のデータベース構築に向けて -文化財指定建造物修理事業からの古材提供-	35
	横山 操, 杉山 淳司, 伊東 隆夫, 川井 秀一

共同利用

MU レーダー共同利用	41
電波科学計算機実験共同利用	43
赤道大気レーダー全国・国際共同利用	45
METLAB 共同利用	47
居住圏劣化生物飼育棟共同利用	49
生活・森林圏シミュレーションフィールド共同利用	51
木質材料実験棟共同利用	53
生存圏データベース共同利用	55
森林バイオマス評価分析システム共同利用	57
プロジェクト全国国際共同利用	60

生存圏学際萌芽研究センター	64
---------------------	----

研究業績	85
------------	----

きのこの代謝のひみつとその環境浄化への応用*

服部 武文**

1. はじめに

化石燃料に支えられ、人類はこれまで発展しました。しかし、負の遺産として、大気中の温室効果ガスの濃度が上昇しました。それに起因すると考えられる地球環境の変動は、日々の生活でも感じられるまでになりました。現在、さらなる環境悪化をくい止めるため、再生産可能であり、かつ、カーボンニュートラルなバイオマス資源のエネルギー源としての利用は一部実用化され、更なる有効利用をはかる研究が世界中で行われています。一方、農、鉱、工業は、難分解性の内分泌かく乱物質、重金属を土壌、河川、湖沼、海に分散させ、水質汚濁を引き起こしました。このように、人類は持続的な生存を図るために、多くの問題に直面しています。

演者の研究関連分野では、木材保存剤材に含まれる重金属による環境汚染のおそれが、指摘されています。1933年にS. Kamesanが見出した、クロム・銅・ひ素化合物は、日本では1963年日本工業規格(JIS)にクロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤(CCA)として制定されて以来、20世紀末まで木材保存剤の中核を成して来ましたが¹⁾。今日、日本では、CCA処理工場の排水中のひ素濃度の規準を満たすことが困難になり、CCAは生産されていませんが、遊器具、ベンチ等に用いられるエクステリア材としてCCA処理材が現在でも外国から輸入されています。

1997年の建設副産物適正処理推進要綱に従うと、CCA処理廃材は他の廃棄物と区別して取り扱い、施行計画などの策定時に、適切な処理先を確保する必要があると謳われています。すなわち、CCA処理廃材を分別解体し、分別処理する事が法制度の下求められています。しかし、実質的に分別回収は難しく、具体的な処理方法が法律上定められていない事が、問題点としてあげられます。すなわち、現状は、分別回収がほとんど行われておらず、他の未処理廃材と共に焼却処理されているものもあります。或いはまた、どのように処理されているか不明の部分もあります。CCA処理された廃材の発生量は、研究者により見積もられる量は異なりますが、日本では住宅解体材から年間約20万立米、一方、米国では、その数十倍多い量が発生すると見積もられています。さらに、世界的に今後50年間はその処理廃材量は増加するとも考えられています。実際、京都市ごみ清掃工場の廃木材一時保管場所から採取されたCCA処理廃木材には、クロム750-1,300mg/kg、銅340-550 mg/kg、ひ素340-820 mg/kg含有されていたと報告されています²⁾。従って、適切な処理方法の開発は急務となっています。

そこで、現在、*分別処理としてCCA処理廃材から、CCAを回収する技術が精力的に研究されています。例えば、クロム・銅・ひ素の抽出に、無機酸、有機酸、超臨界二酸化炭素を用いる方法が実験室レベルで検討されています。それらに対して、バクテリア、真菌類、またはその培養液を用いた、生物学的なCCAの回収もしくは変換、すなわちバイオレメディエーションの範疇に入る処理も試みられています³⁾。

この生物学的な処理では、CCAあるいは他の銅系木材防腐剤に耐性を示すある種の木材腐朽菌が注目されています。この点に関連し、演者らは銅耐性を示すJISの木材腐朽試験菌である褐色腐朽菌オオウズラタケ(*Fomitopsis palustris* (Berkely et Curtis Murill))の炭素代謝機構をこれまで解明してきました。

本稿では、銅耐性菌オオウズラタケの炭素代謝機構の特長、すなわち、他の生物とは異なる「きのこの代謝のひみつ」をまとめます。次に、その力を応用し、保存処理木材廃材の処理、重金属捕集を含む「環

* 2008年4月9日作成. 第4回生存圏研究所公開講演会(2007年10月20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森林代謝機能化学分野. E-mail: thattori@rishi.kyoto-u.ac.jp

境浄化への応用」の可能性を述べます。

2. 木材腐朽菌オオウズラタケは銅耐性菌の1つである

木材腐朽菌には、我々が食すシイタケ、ナメコ等きのこの仲間が含まれます。木材細胞壁の主要化学成分であるセルロース、ヘミセルロースを炭素源にして生育する木材腐朽菌は、芳香族高分子化合物であるリグニンを部分的に変性することとどめる褐色腐朽菌と、リグニンを二酸化炭素、水にまで分解する白色腐朽菌に主に分けられます。腐朽残渣は、土壤生物による多くの変化を受けた後、腐植として森林土壌を形成します。すなわち、木材腐朽菌は、豊かな森林形成、ひいては、地球の炭素循環に大きな役割を果たしています。

一方、木材腐朽菌のいくつかは、居住圏において建造物の構造部材を腐朽し、その力学的強度を著しく損なわせる害菌としても位置づけられます。そこで、木材腐朽菌等による腐朽を防止するために、前述のCCA等、銅を有効成分の1つとする木材防腐剤が多年に渡り使用されてきました。

しかし、これらにより処理された木材からも、ある種の木材腐朽菌が繰り返し単離され、この観察から、*Poria* 属、他、特異的な木材腐朽菌が銅耐性を示すと報告されてきました⁴⁾。

その中で、演者らの研究対象菌であるオオウズラタケは、銅耐性菌である事が報告されています。例えば、Greenらはクエン酸銅で防腐処理した southern yellow pine の腐朽試験を行い、銅耐性菌としてオオウズラタケを含む6属の褐色腐朽菌を報告しています⁵⁾。さらに、Hastrupらは、クエン酸銅、alkaline copper quaternary-type D (ACQ-D), *N,N*-naphthaloylhydroxylamine (NHA)で防腐処理した southern yellow pine をオオウズラタケは、処理をものともせず腐朽した事を報告しています⁶⁾。また、岩本らは、アゼライン酸溶液とアゼライン酸銅溶液処理したスギ辺材を、オオウズラタケは16-40%程度重量を減少するほど腐朽し、銅耐性菌である事を認めています⁷⁾。さらに、鈴木らはオオウズラタケによるベイツガの防腐では、CCA1号銅成分の最小換算吸収量で15.24kg/m³以上必要である事を報告しています⁸⁾。

3. シュウ酸は銅耐性をひきおこす

これらの菌の銅耐性機構には、菌が分泌するシュウ酸が重要な働きをする事が提案されています。まず、木材腐朽におけるシュウ酸の役割に関しては、木材腐朽菌が分泌するシュウ酸は、酵素、ラジカル活性種によるセルロース、ヘミセルロース、リグニンの分解を多面的に支えています⁹⁾。シュウ酸は白色腐朽過程では、リグニン分解酵素の活性を維持させる働きが提案されています。また、褐色腐朽過程では多糖類、リグニン-炭水化物複合体の酸加水分解を触媒します。さらに、濃度に応じフェントン反応を促進、又は、阻害すると提案されています¹⁰⁾。また、白色・褐色腐朽菌各々に特異的な生理学的特長として、褐色腐朽菌は多量のシュウ酸を蓄積するが白色腐朽菌は少量しか蓄積しない事があげられます。一方、銅耐性機構としては、これら銅耐性菌が分泌するシュウ酸が、銅を水不溶性のシュウ酸銅に変換する事により、菌糸への吸収を防止し菌糸に無害な状態にすることが、提案されてきています。文献には当たれなかったが、古くは、Rabanusは^{11, 12)}硫酸銅を含む寒天培地で *P. incrassata*, *P. vaporaria* を培養すると、シュウ酸銅が沈殿する事を観察し、そこから可溶性の硫酸銅が不溶性のシュウ酸銅に変換される事により、無毒化され、菌が耐性を付与されているという仮説が始まったと述べられています⁶⁾。

木材腐朽過程でもシュウ酸銅が蓄積する事は、Sutterらにより、pine 辺材を硫酸銅処理し、それを *P. placenta* で処理すると、菌糸表面でシュウ酸銅の結晶が観察される事で示されています⁴⁾。その際、*P. vaillantii* がシュウ酸カリウムを分泌する事は、標品とのIRスペクトルを比較し示されました。さらに、角田らも白色腐朽菌、褐色腐朽菌の銅に対する耐性を比較し、耐性の強さと菌が分泌するシュウ酸の蓄積量(文献値)とが、正の相関があるようだと報告しています¹³⁾。また、*F. palustris* 菌糸表面に固形物が蓄積する事を走査型電子顕微鏡、EDXAで認めており、本菌がシュウ酸を分泌する事から、シュウ酸銅が形成されていると提案しました。さらに岩本らも、*F. palustris* 菌糸表面に固形物の存在を認めています⁷⁾。

このように、オオウズラタケの銅耐性機構は、分泌されたシュウ酸によるシュウ酸銅形成に起因してい

ると強く示唆されています。

4. オオウズラタケにおけるシュウ酸生合成酵素

では、シュウ酸はどのようにして生合成されるのでしょうか。まず、オオウズラタケにおいて直接シュウ酸を合成する酵素として、オキサロ酢酸加水分解酵素(OXA, EC3.7.1.1)とチトクローム *c* 依存性グリオキシル酸脱水素酵素 (GLOXDH)の2つが提案されています。

赤松らは、オオウズラタケの無細胞抽出液より、オキサロ酢酸を加水分解しシュウ酸と酢酸を生成させる OXA 活性を報告しました¹⁴⁾。OXA 活性は培養初期に高い活性を示しその後減少に転じたため、培養初期のシュウ酸生成に重要性が高い酵素と提案されています¹⁵⁾。

赤松と島田は OXA の他に、グリオキシル酸をシュウ酸に酸化するグリオキシル酸酸化酵素を見出し、その部分精製を報告した¹⁶⁾。本酵素はフラビンヌクレオチドを補欠分子族とし、酸素も電子受容体となり過酸化水素を生成する新規酵素であると記述されました。

この魁となった研究の後、時松らはオオウズラタケより GLOXDH の精製を報告しました¹⁷⁾。本酵素はグリオキシル酸を脱水素し、チトクローム *c* を電子受容体に要求しシュウ酸を生成する新規酵素でした。また、精製 GLOXDH をタンパク質分解酵素パパイニンで消化し、FMN とヘムを各々含むドメインに分解し特性を解明しました¹⁸⁾。その結果、FMN を含むドメインは、赤松と島田が報告したグリオキシル酸酸化酵素¹⁶⁾と類似した性質を示すことが分かりました。

5. シュウ酸の前駆物質を供給するグリオキシル酸回路の鍵酵素の性質

OXA の基質オキサロ酢酸は TCA 回路とグリオキシル酸(GLOX)回路により、グリオキシル酸は GLOX 回路により生成すると考えられます。そこで、演者らはまず、GLOX 回路の鍵酵素であるイソクエン酸リアーゼ (EC4.1.3.1, オオウズラタケ ICL を演者らは FPICL1 と名を付けた)を精製しその諸性質を明らかにしました¹⁹⁾。本酵素はイソクエン酸をコハク酸とグリオキシル酸に変換します。さらに、グリオキシル酸とアセチル-CoA を縮合させてリンゴ酸を合成するリンゴ酸合成酵素 (MS, EC2.3.3.9)を精製しその諸性質を明らかにしました²⁰⁾。

6. 木材腐朽菌の特異な TCA 回路と GLOX 回路の役割

6.1 オオウズラタケのシュウ酸生合成機構 (酵素レベルでの検討)

グルコース炭素源を用いてオオウズラタケを培養すると、9g のグルコースが炭素源として利用されると 7g のシュウ酸が蓄積する事を見出し、オオウズラタケのシュウ酸蓄積は発酵現象として捉えられる事を提案しました²¹⁾。さらに、Green と Clausen は southern yellow pine を本菌で腐朽させた場合には、平均値で 442-581micromoles of oxalic acid per gram of final dry weight of wood 生成したと報告しています⁵⁾。演者らは、シュウ酸生合成に関連が深いと考えられる TCA 回路と GLOX 回路の各酵素活性を検討し、シュウ酸生合成の原動力となる TCA, GLOX 回路に以下に示す特徴があることを見出しました。

6.2 2-オキソグルタル酸脱水素酵素活性の未検出

2-オキソグルタル酸脱水素酵素 (図1, ODH[3]) は TCA 回路の鍵酵素の1つであり、2-オキソグルタル酸をコハク酸-CoA に変換する可逆反応を触媒します。しかし、グルコース炭素源で培養した白色腐朽菌 11 種 14 菌株、褐色腐朽菌 7 種 7 菌株からは、本酵素活性が検出されませんでした²²⁾。

もし、ODH が十分機能していないのならば、木材腐朽菌における TCA 回路は教科書に記載されている TCA 回路とはずいぶん異なる特徴を持つこととなります。演者らの研究以前は、木材腐朽菌では 2-オキソグルタル酸からグルタミン酸、GABA (γ -アミノ酪酸)、コハク酸セミアルデヒド、を経て、コハク酸を形成させる GABA 経路が提案されていました。一方演者らは GLOX 回路が、TCA 回路のアナプレロティック (補填

的) な役割を持つことに着目しました。そこで、前述のオオウズラタケにおける大きなシュウ酸生成能力がどのように導き出されているか、GLOX、TCA 回路との相互連携を解明する事により、上記のなぞを解こうとしました。

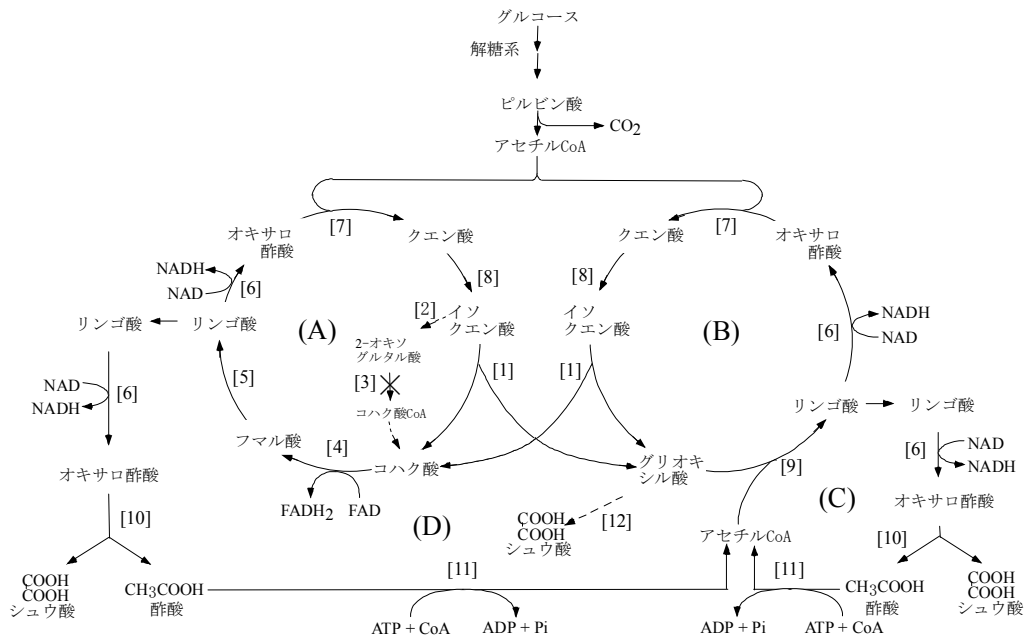


図1 褐色腐朽菌オオウズラタケにおけるショートカット TCA 回路(A)と GLOX 回路(B)と連動するシュウ酸生成機構の提案(C と D は酢酸リサイクリング経路)²⁾¹⁾

関係酵素：[1]イソクエン酸リアーゼ(FPICL1), [2]イソクエン酸脱水素酵素(IDH), [3]2-オキソグルタル酸脱水素酵素(ODH), [4]コハク酸脱水素酵素, [5]フマル酸ヒドラーゼ, [6]リンゴ酸脱水素酵素(MDH), [7]クエン酸合成酵素, [8]クエン酸イソメラーゼ, [9]リンゴ酸合成酵素(MS), [10]オキサロアセターゼ, [11]アセチル CoA 合成酵素, [12]チトクローム c 依存性グリオキシリル酸脱水素酵素(GLOXDH)

6.3 木材腐朽菌における TCA 回路と GLOX 回路の調節

オオウズラタケにおける TCA 回路 GLOX 回路 (図 1) の特徴として、以下 3 点が見出されました。

- ①多くの他の微生物においてカタボライト抑制を受ける GLOX 回路が、本菌では構成的に機能し不完全な TCA 回路をおこなっています。
- ②本菌の栄養菌糸生育に必要なエネルギーは、シュウ酸生成により獲得しています。
- ③GLOX 回路の鍵酵素である FPICL1 と MS は、グルコース炭素源で培養した他の木材腐朽菌からも高い活性が得られています。

GLOX 回路は、多くの微生物ではエタノール、酢酸、脂質などの C2 化合物または等価体を炭素源として生育する時誘導されます。そして、一般的にグルコース炭素源が存在すると遺伝子発現および翻訳後修飾のレベルでも阻害を受け機能しない性質があります。しかし、演者らは白色腐朽菌 11 属 14 種 15 菌株、褐色腐朽菌 7 属 8 種 8 菌株、軟腐朽菌 3 属 3 種 4 菌株の GLOX 回路の ICL, MS 活性が、グルコース炭素源においても検出される事を見出しました²⁾²⁾。特に、オオウズラタケにおいては、トップクラスの活性が見出されました。そこで、図 1 に示すように、ODH が十分作用しなくとも、栄養菌糸生育時には、主に FPICL1 によりイソクエン酸はコハク酸とグリオキシリル酸に転換され、コハク酸は TCA 回路で代謝されます。グリオキシリル酸は GLOX 回路を経てシュウ酸に代謝されます。さらに、オキサロ酢酸は OXA によりシュウ酸と酢酸に分解されます。酢酸は、菌体外には蓄積せず、菌体内で再利用されます。このシュウ酸生成により、

オオウズラタケは栄養菌糸生育に必要なエネルギーを獲得する新たな炭素代謝機構を提案しました²¹⁾。

また、志水らもグルコース炭素源で培養した白色腐朽菌 *Phanerochaete chrysosporium* は、ODH 活性が低いと報告しました。しかし、リグニン分解物の一つであるバニリンを添加し分解活性が発揮されると、イソクエン酸脱水素酵素活性、ODH 活性が著しく誘導を受ける事を報告しています²³⁾。一方、リグニン分解能力を持たない褐色腐朽菌オオウズラタケにおいては、まだこのような調節機構が存在するか否かは、明らかにされておりません。しかし、オオウズラタケの子実体形成過程ではシュウ酸生成が阻害されアミノ酸合成が活発化し、アミノ酸からの TCA 回路への炭素の回収がより活性化する事を見出しました²⁴⁾。

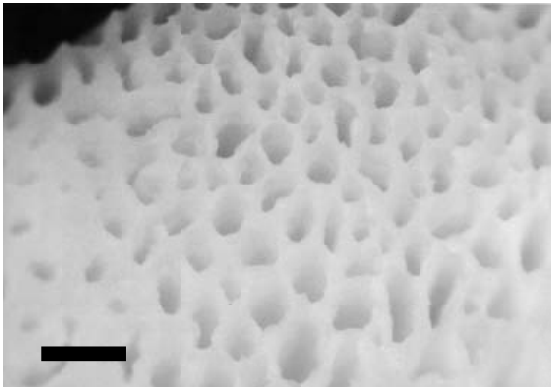


図2 液体培地で生成したオオウズラタケ子実体²⁴⁾
倍率 40 倍、バーは 0.3 mm

6.4 オオウズラタケのシュウ酸生成機構（遺伝子・オルガネラレベル）

続いて演者らは、FPICL1 をコードする cDNA をクローニングし、大腸菌を用いてその一部を組換えタンパク質として発現させました。それを抗原に用いて、ウサギに免疫し抗体を調製した。その抗体により、免疫電子顕微鏡観察を行った結果 FPICL1 はペルオキシソームに局在していることが分かりました²⁵⁾。同様に、GLOXDH はペルオキシソームに局在することが示されました（未発表）。さらに、MS はペルオキシソームに、OXA は細胞質に局在することが、細胞分画により示されました²⁵⁾。

これらの酵素の局在を考慮すると、シュウ酸生成をエネルギー獲得の手段と考えられるオオウズラタケの細胞内代謝には以下の特徴が考察されます。

- ①シュウ酸生成は、細胞質とペルオキシソームで行われると示唆されます。ペルオキシソームでは、グリオキシル酸を供給する FPICL1 と、グリオキシル酸を脱水素しシュウ酸に酸化する GLOXDH が同じオルガネラに存在し、双方が連携しシュウ酸生成を行っていると考えられます。一方、細胞質では、OXA によりオキサロ酢酸が加水分解されシュウ酸が生成されていると考えられます。
- ②このシュウ酸生成および炭素代謝を効率よく行わせるために、ミトコンドリアとペルオキシソームの間では代謝産物の輸送が円滑に行われている事が想像されます。すなわち、イソクエン酸またはクエン酸がミトコンドリアからペルオキシソームに輸送され FPICL1 により代謝されている可能性が示唆されます。また、コハク酸はペルオキシソームからミトコンドリアに輸送され、コハク酸デヒドロゲナーゼにより代謝されている事が示唆されます。さらに、このような輸送は、オオウズラタケにおいて誘導的ではなく、恒常的に行われている事が示唆されます²⁵⁾（図3）。
- ③GLOXDH は試験管内の反応では、電子受容体としてチトクローム *c* を要求します¹⁷⁾。しかし、チトクローム *c* がペルオキシソームにおいて電子受容体として機能していると言う報告例を演者は知りません。特異的な電子伝達システムがオオウズラタケのペルオキシソームに存在しているのかもしれませんが、あるいは、生体内においてはまったく別の電子受容体がペルオキシソームで機能しているのかもしれませんが、今後の研究がさらに必要とされます。

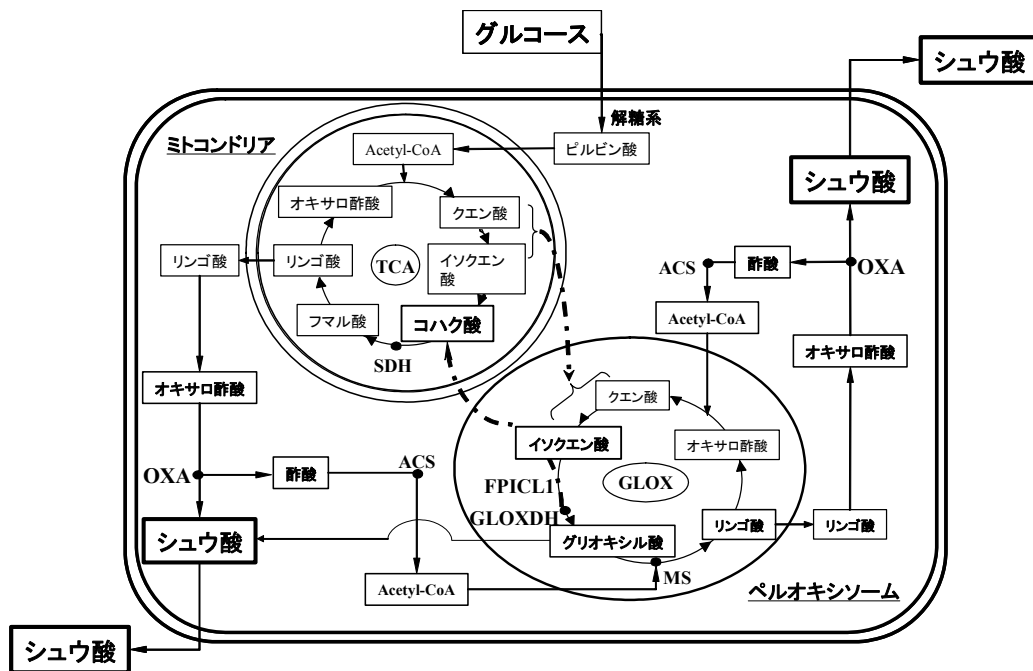


図3 酵素局在を考慮したオオウズラタケ炭素代謝機構^{2,5)}

OXA: オキサロ酢酸加水分解酵素、FPICL1: イソクエン酸リアーゼ、GLOXDH: チトクローム *c* 依存性グリオキシル酸脱水素酵素、MS: リンゴ酸合成酵素、SDH: コハク酸脱水素酵素、ACS: Acetyl-CoA 合成酵素

④シュウ酸は、オオウズラタケ菌糸体から細胞外に、効率的に排出される必要があります。さらに、シュウ酸は、詳しい生体反応機構は未解明の点が多いが、生物体に活性酸素を発生させ、また、毒性を示す事例も報告されています。その観点に立つと、オオウズラタケは前述の高濃度のシュウ酸が存在している環境下でも活発に生長するため、シュウ酸に対する耐性機構が備わっている可能性が考えられました。最近シュウ酸耐性を発揮する、可溶性と予測されるタンパク質をコードする cDNA をクローニングしました^{2,6)}。この明らかにされた cDNA によりコードされるタンパク質は、一つの可能性として、シュウ酸の細胞外への輸送を何らかの形で手助けしている可能性が考えられ、オオウズラタケの高いシュウ酸蓄積能力、またその環境下での強い生長能力を支える機構に組み込まれている可能性があります。

7. 保存処理木材からの CCA の除去

銅耐性木材腐朽菌は、銅、クロム、ヒ素を処理木材から除く作用があることが報告されています。Sutterらは、pine sapwood を硫酸銅 5 水和物や、copper naththenate で処理した木材を、*P. placenta* や *P. vailantii* で 4、8 週間腐朽させ、その後菌糸を取り除いて木材の銅の含量を測定すると、銅の含量が始めの 10% にまで最大減少する事を見出しました⁴⁾。また、そのメカニズムの一つとして、菌糸の周りに存在するムシゲルに存在するシュウ酸によって銅を抽出し、沈殿させると示唆されると述べています。また、岩本らも木材に一旦固着した銅をオオウズラタケが移動させ集積させたと提案しています⁷⁾。この現象を Gadd^{2,7)} に従い考察すると、2 価の銅イオンにシュウ酸がキレートし複合体を作る反応では、2 種類の塩が出来る可能性があります。一つは、 $\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{XH}_2\text{O}$ であり、二つ目は $\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$ である。 $\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$ の solubility constant の値は 2.87×10^{-8} とされている。一方、 $\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{XH}_2\text{O}$ の値は明確ではないが、一般的に電化を持たないシュウ酸塩が形成された場合には、結晶化またはアモルファス状態で沈殿する傾向が

あると Gadd は述べています²⁷⁾。Kartal らは CCA 処理した Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) の木粉をオオウズラタケを培養したシュウ酸を含む培養口液で処理するとヒ素が 100%、銅が 72%、クロムが 87% 除去できる事を報告しました²⁸⁾。

CCA 処理した木材から銅イオンが溶離することが出来る理由のひとつとしては、上記のようにシュウ酸に由来したシュウ酸銅が生成しその結果として、比較的溶解性がある塩が形成されることにより一旦可溶化し、その後溶解度が低い塩が形成される事により菌糸近傍に沈殿物が形成されると考えられます。しかしそればかりではなく、菌糸内部に銅の毒性が発揮されない形態で銅を取り込み移動させている可能性も推定される。既に、Chou らは、菌糸体の乾燥重量あたり 3-4%の銅がとりこまれ、細胞内で固定化される機構があるのではと示唆しています²⁹⁾。他の生物においては、金属イオンにキレートするペプチドの存在が報告され研究も進んでいますが、オオウズラタケでは未だ十分検討されてはいません。木材腐朽菌は、このように重金属の除去にも用いられる可能性が考えられます。今後さらに研究する意義があると考えます。

8. 終わりに

褐色腐朽菌オオウズラタケのシュウ酸生合成を含めた炭素代謝機構の基礎知見と、防腐処理された木材の実際の腐朽現象並びに、防腐剤の開発で得られた知見とが融合する事により、新たな展開が期待されると考えます。ご教示、ご指導賜れば幸甚に存じます。

ここに記述された研究結果は、現福井工業大学教授島田幹夫先生（京都大学名誉教授）のご指導の下、当時の多くの学生、共同研究者の皆様、演者により行われ、現在の森林代謝機能化学研究室においても、演者らにより引き続き進められている成果です。

本稿をまとめるにあたり、筑波大学土居修一先生、京都大学大生存圏研究所今村祐嗣先生、角田邦夫先生、吉村 剛先生、畑 俊充先生、越井木材工業(株) 荘保伸一様には、貴重なご助言を賜りました。さらに、(財) 廃棄物研究財団、近藤和義様には、資料収集でお世話になりました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岩崎克己, わが国における CCA 木材保存剤の開発とその処理木材市場の盛衰の技術的背景, 木材保存, **29**, 192-216 2003.
- 2) 酒井伸一, 他, 薬剤処理木材の循環処理に関する研究, 平成 13 年度廃棄物処理等科学研究総合研究報告書「化学物質の循環・廃棄過程における制御方策に関する研究, (財) 廃棄物研究財団 諸頭達夫 研究代表者, p. 3-1, p. 3-36, 2002 年 3 月.
- 3) Kartal, S.N., Imamura, Y., Chemical and biological remediation of CCA-treated waste wood, Wood Research, No. **90**, 111-115, 2003.
- 4) Sutter, H.-p., Jones, E.B.G., and Wälchli, O., The mechanism of copper tolerance in *Poria placenta* (Fr.) Cke. and *Poria vaillantii* (Pers.) Fr., *Material und Organismen*, **18**, 241-262, 1983.
- 5) Green III, F. and Clausen, C.A., Copper tolerance of brown-rot fungi: time course of oxalic acid production, *International Biodeterioration & Biodegradation*, **51**, 145-149, 2003.
- 6) Hastrup, A.C.S., Green III, F., Clausen, C.A., Jensen, B., Tolerance of *Serpula lacrymans* to copper-based wood preservatives, *International Biodeterioration & Biodegradation*, **56**, 173-177, 2005.
- 7) 岩本頼子, 酒井温子, 伊藤貴文, 中村嘉明, 木材に対する銅の固着性評価 (第 3 報) アゼライン酸銅の防腐効力とオオウズラタケによる銅の移動・集積, 奈良県森林技術センター研究報告, **30**, 39-45, 2000.
- 8) 鈴木利克, 檜垣宮都, クロム・銅・ヒ素系木材防腐剤に関する研究 (第 2 報), 東京農大農学集報, **32**, 303-316, 1988.
- 9) 島田幹夫, 木質資源の循環系に対する一考察 - 森林微生物キノコの立場から, 木材研究・資料, **39**, 1-22, 2003.
- 10) 島田幹夫, Yoon, J.-J., Munir, E., 服部武文, 木材腐朽菌の代謝生理: 銅耐性とシュウ酸, そして腐朽の生化学, 木材保存, **28**, 86-97, 2002.

- 11) Rabanus, A., Die Toximetrische prüfung von Holzkonservierungsmitteln. In: Proceedings of the annual meeting of the American Wood Preservers' Association, pp. 34-43, 1933.
- 12) Rabanus, A., Über die Säureproduktion von Pilzen und deren Einfluß auf die Wirkung von Holzschutzmitteln. Mitt. Dt. Forstverein **23**, 77-89, 1939.
- 13) Tsunoda, K., Nagashima, K. and Takahashi, M., High tolerance of wood-destroying brown-rot fungi to copper-based fungicides, *Material und Organismen*, **31**, 31-44, 1997.
- 14) Akamatsu, Y., Ohta, A., Takahashi, M. and Shimada, M., Enzymatic formation of oxalate from oxaloacetate with cell-free extracts of the brown-rot fungus *Tyromyces palustris* in relation to the biodegradation of cellulose, *Mokuzai Gakkaishi*, **37**, 575-577, 1991.
- 15) Akamatsu, Y., Takahashi, M. and Shimada, M., Influences of various factors on oxaloacetase activity of the brown-rot fungus *Tyromyces palustris*, *Mokuzai Gakkaishi*, **39**, 352-356, 1993.
- 16) Akamatsu, Y. and Shimada, M., Partial purification and characterization of glyoxylate oxidase from the brown-rot Basidiomycete *Tyromyces palustris*, *Phytochemistry*, **37**, 649-653, 1994.
- 17) Tokimatsu, T., Nagai, Y., Hattori, T. and Shimada, M., Purification and characteristics of a novel cytochrome *c* dependent glyoxylate dehydrogenase from a wood-destroying fungus *Tyromyces palustris*, *FEBS Letters*, **437**, 117-121, 1998.
- 18) Nagai, Y., Tokimatsu, T., Hattori, T. and Shimada, M., A possible intramolecular electron transfer pathway of glyoxylate dehydrogenase in a brown-rot fungus *Tyromyces palustris*, *Wood Research*, No. **86**, 35-36, 1999.
- 19) Munir, E., Hattori, T. and Shimada, M.: Purification and characterization of isocitrate lyase from the wood-destroying basidiomycete *Fomitopsis palustris* grown on glucose, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **399**, 225-231, 2002.
- 20) Munir, E., Hattori, T. and Shimada, M., Purification and characterization of malate synthase from the glucose-grown wood-rotting basidiomycete *Fomitopsis palustris*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **66**, 576-581, 2002.
- 21) Munir, E., Yoon, J.J., Tokimatsu, T., Hattori, T. and Shimada, M., A physiological role for oxalic acid biosynthesis in the wood-rotting basidiomycete *Fomitopsis palustris*, *PNAS*, **98**, 11126-11130, 2001.
- 22) Munir, E., Yoon, J.-J., Tokimatsu, T., Hattori, T. and Shimada, M., New role for glyoxylate cycle enzymes in wood-rotting basidiomycetes in relation to biosynthesis of oxalic acid, *J. Wood Sci.*, **47**, 368-373, 2001.
- 23) Shimizu, M., Yuda, N., Nakamura, T., Tanaka, H. and Wariishi, H., Metabolic regulation at the tricarboxylic acid and glyoxylate cycles of the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* against exogenous addition of vanillin, *Proteomics*, **5**, 3919-3931, 2005.
- 24) Yoon, J.-J., Hattori, T. and Shimada, M., A metabolic role of the glyoxylate and tricarboxylic acid cycles for development of the copper-tolerant brown-rot fungus *Fomitopsis palustris*, *FEMS Microbiol. Lett.*, **217**, 9-14, 2002.
- 25) Sakai, S., Nishide, T., Munir, E., Baba, K., Inui, H., Nakano, Y., Hattori, T. and Shimada, M., Subcellular localization of glyoxylate cycle key enzymes involved in oxalate biosynthesis of wood-destroying basidiomycete *Fomitopsis palustris* grown on glucose, *Microbiology*, **152**, 1857-1866, 2006.
- 26) Watanabe, T., Shitan, N., Umezawa, T., Yazaki, K., Shimada, M. and Hattori, T., Involvement of FpTRP26, a thioredoxin-related protein, in oxalic acid-resistance of the brown-rot fungus *Fomitopsis palustris*, *FEBS Letters*, **581**, 1788-1792, 2007.
- 27) Gadd, G.M., Fungal production of citric and oxalic acid: importance in metalspeciation, physiology and biogeochemical processes, *Advances in Microbial Physiology*, **41**, 47-92, 1999.
- 28) Kartal, S.N., Munir, E., Kakitani, T. and Imamura, Y., Bioremediation of CCA-treated wood by brown-rot fungi *Fomitopsis palustris*, *Coniophora puteana*, and *Laetiporus sulphureus*, *J. Wood Sci.*, **50**, 182-188, 2004.
- 29) Chou, C.K., Chandler, J. A., and Preston, R.D., Uptake of metal toxicants by fungal hyphae colonizing

C. C. A.-impregnated wood. *Wood Sci. Technol.*, **7**, 206-211, 1973.

腐れとシロアリ食害から家を守る*

角田邦夫**

1. はじめに

日本の国土は南北に細長い為、動植物相が豊かで気候は変化に富んでいます。気候帯区分によれば北海道が冷帯、本州・四国・九州は温帯、沖縄を含む琉球諸島では年平均気温が 20℃を超え熱帯に位置しています^{*1}。北海道を除く地域には梅雨期があり、比較的明確な四季があります。理科年表¹⁾ から日本各地の月平均気温・相対湿度・降雨量を抜粋して示した表 1 を見てみますと、一般的には相対湿度が高く、夏季は高温多湿で過ごしにくい地域が多いと言えます。

^{*1} 気候帯区分：緯度、気温、気温と降水量などを基準して気候帯が定められています。気温と降水量によって区分したドイツの気候学者ケッペンの気候区分が良く用いられているようです【気候帯：フリー百科事典ウィキペディア (Wikipedia)】。それによりますと、世界の気候帯は熱帯、温帯、冷帯(亜寒帯)、寒帯、乾燥帯の 5 区に分けられています。

わが国では、世界最古の木造建築である法隆寺、世界最大の木造建築と言われる東大寺に象徴されるように木材を建築にふんだんに使用してきました。山々に住宅材料に適した樹木が豊富にあったことが木材を建築材料として利用してきた大きな要因ですが、優れた木材の特質をわれわれの祖先が経験的に学び、活かす方法を知っていたことは間違いないでしょう。日本住宅を歴史的に見れば、原始・古代の竪穴式住居に続いて通気性に富む高床式住居が登場しました。歴史が進むにつれて様々な住居が出現しますが、建築(住宅)材料の主役は木材でした。構法的には、竪穴式住居にまで遡ることができる木造軸組構法が在来構法として定着しています²⁾。一方、第二次世界大戦後には海外の住宅構法も取り入れられるようになってきています。

1700 年以降の世界の森林面積の変化を表 2 に示しています。1700 年には 62.2 億 ha あった森林面積が 2000 年には 39.6 億 ha に減少し、反対に 1700 年には 2.65 億 ha であった農地面積が 1980 年には 15.01 億 ha に増加しています^{3,4)}。農地面積の増加は、人口の増加に伴って森林が伐採されて農地に転用されたことを物語っています(図 1, 表 2)³⁾。

木材の材料としての正の特性(長所)をまとめてみますと、豊富な資源量に裏打ちされた①入手のし易さ、②鋸断、釘打ち、鉋削が容易で作業現場での加工に好適、③比強度(強度を比重で割った値)が高く、軽くて丈夫、④低い熱・電気伝導性、⑤周辺環境に応じて湿気を吸脱する調湿機能、⑥木理(木目)や色などの意匠性などが挙げられます。一般的な負の特性(短所)としては、(a)腐朽菌、変色菌、表面汚染菌(かび)、昆虫による生物劣化を受け易い、(b)含水率の変化に伴う寸法変化(膨張・収縮)、(c)易燃焼性が挙げられます^{5,6)}。材料としてのこれらの短所は、見方を変えれば利点と考えられる場合があります。例えば、(a)は森林での落枝・落葉の分解には不可欠であり、効率的な物質循環を担いますし、(b)は正の特性⑤の裏返しになりますが、居住空間の調湿には極めて有効と言えますし、(c)は薪として利用できることを意味しますから、電気や石炭が十分に供給されない開発途上国では今なお貴重なエネルギー源になります。世界の年間木材消費量の約半分に当たる 18 億 m³が燃料用として消費されています⁷⁾。

上述の通り、日本の住宅は昔から貴重な資源である木材を利用して建てられていますから、材料と

* 2008 年 4 月 2 日作成. 第 4 回生存圏研究所公開講演会 (2007 年 10 月 20 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居住圏環境共生分野。

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

しての欠点を補う対策が講じられなければ長期耐用は困難です。地震国である日本では、住宅の耐震性は極めて重要であるため、幾度となく基準の強化が図られてきました⁸⁾。ここでは、短所として挙げた3点の内、(a)生物劣化で特に重要な腐れ(腐朽)とシロアリから住宅を保護する方法について言及します。

表1 日本各地の月別平均温湿度と降水量

項目	都市名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年*
気温 (°C)	札幌	-4.1	-3.5	0.1	6.7	12.1	16.3	20.5	22.0	17.6	11.3	4.6	-1.0	8.5
	仙台	1.5	1.7	4.5	10.1	14.9	18.3	22.1	24.1	20.4	14.8	9.1	4.3	12.1
	東京	5.8	6.1	8.9	14.4	18.7	21.8	25.4	27.1	23.5	18.2	13.0	8.4	15.9
	大阪	5.8	5.9	9.0	14.8	19.4	23.2	27.2	28.4	24.4	18.7	13.2	8.3	16.5
	宮崎	7.4	8.3	11.7	16.1	19.4	23.0	26.8	27.0	24.1	19.2	14.3	9.4	17.2
	那覇	16.6	16.6	18.6	21.3	23.8	26.6	28.5	28.2	27.2	24.9	21.7	18.4	22.7
相対湿度 (%)	札幌	71	70	67	63	67	74	77	77	73	69	67	70	70
	仙台	65	64	62	64	70	80	83	81	78	71	67	65	71
	東京	50	51	57	62	66	73	75	72	72	66	60	53	63
	大阪	61	60	59	60	62	69	70	67	68	66	64	62	64
	宮崎	63	67	69	73	71	83	80	83	80	78	74	76	75
	那覇	69	71	74	78	80	84	79	80	77	73	71	68	75
降雨量 (mm)	札幌	111	96	80	61	55	51	67	137	138	124	103	105	1128
	仙台	33	48	73	98	108	138	160	174	218	99	67	26	1242
	東京	49	60	115	130	128	165	162	155	209	163	93	40	1467
	大阪	44	59	100	121	140	201	155	99	175	109	66	38	1306
	宮崎	72	90	180	218	250	418	304	269	337	180	89	52	2457
	那覇	115	125	160	181	234	212	176	247	200	163	124	101	2037

* 温湿度は年平均、降雨量は年間降雨量

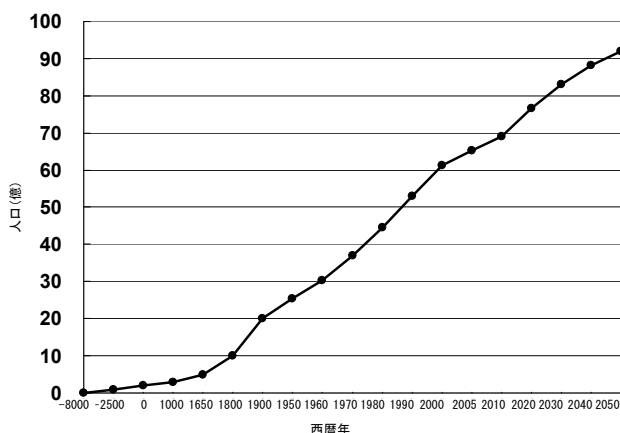


図1 世界人口の経時的変化

表2 世界の森林面積(x 10⁶ ha)の経時変化

西暦年	1700	1850	1920	1950	1980	1990	2000	2005
面積	6215	5965	5677	5389	5053	3968	3959	3952

2. 木材の耐久性

森林資源が潤沢で一部の裕福な階級だけが住居を構えることができた時代には、何百年間も風雪に耐えた耐久性が高い樹種を多量に使用することができました。高耐久性樹種から得られた木材は、

同じ樹種であれば、一般的には心材よりも辺材の耐久性が低く、様々な樹種の耐久性は心材に関して記されています。製材に関する日本農林規格の耐久性は、耐久性の有無による2段階に分けられています⁹⁾。例を挙げますと、耐久性ありD1:ヒノキ、ヒバ、ベイヒ、ベイヒバ、クリ、ケヤキ、ベイスギなど、耐久性なしD2:アカマツ、クロマツ、トドマツ、エゾマツ、ラジアタパイン、スプルース、ベイツガなどです。住宅金融公庫が監修した木造住宅工事仕様書には、公庫融資に関する基準項目と仕様項目が定められており、木造住宅の土台や地面から1 m以内の外壁の軸組(土台を除く)に使用される木材の防腐・防蟻措置として耐久性の高い樹種を無処理で使用することが認められています¹⁰⁾。耐久性樹種の中では植林量が多いヒノキが土台などに利用されています。しかしながら、産地別ヒノキの耐朽・耐蟻性に関する室内試験によれば、耐久性が低いベイツガやヒノキ辺材と比較すれば、ヒノキ心材の耐朽・耐蟻性は高いものの、保存処理をしなくても腐れやシロアリ食害が生じない程の耐久性を備えているとは言い難いようです¹¹⁾。土台の実用条件(土壌と接触せず、風雨の直接的影響が

ない環境)を模した鹿児島での野外実験では、市販のヒノキ土台から採取した寸法 10.5 cm 平方 x 50 cm 長の試験体 10 本を供したところ、試験開始 1 年目で 6 本に、4 年目には全数にシロアリ食害が発生しました。一方、腐れはシロアリ食害よりも遅れて生じ、5 年目に初めて確認できました¹²⁾。試験開始後 3 年経過時点での試験体の含水率は繊維飽和点を越えていましたので、腐れが発生する条件は揃っていたと考えられます¹²⁾。試験開始後 10 年が経過した時点で試験体を回収して調べた結果、辺材部だけでなく、図 2 に示すように心材部にもシロアリ食害が生じていました¹³⁾。同時に試験したヘムファー試験体へのシロアリ食害はさらに甚大であったことは言うまでもありません¹³⁾。

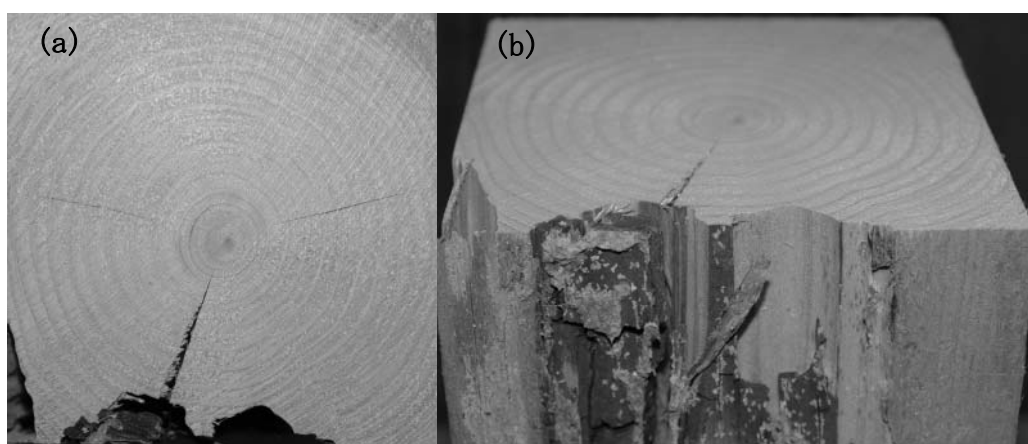


図 2 土台の実用条件模倣野外実験 10 年後のヒノキ試験体 [(a) : 木口面-心材部へもシロアリ食害が拡大, (b) : 左写真部を斜上方から撮影, 試験体設置時に下にした面へのシロアリ食害が激しい]

木材の耐久性評価はかなり以前に実施された試験結果に基づいており¹⁴⁾、植林地から収穫された樹齢 50 年までの樹木から得られる木材には、必ずしも当てはまらないことを銘記しておくべきでしょう。

3. 腐れはどうして発生するか？

家を構成する木材の腐れには木材腐朽担子菌(白色腐朽菌には子のう菌に属するものがあります)が関与しています。木材腐朽担子菌は木材構成成分に対する分解力の違いを反映して、腐朽木材の色が異なることから褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大別され、家の腐朽は主として前者によって引き起こされています。腐れが始まる時の腐朽菌は人間の肉眼では捉えることができない小さな寸法ですから、木材表面の色の変化や軟化が生じてから気がつくのが普通です。木材腐朽菌は産出した分解酵素の働きを利用して木材を分解しながら栄養源にしています。生育する条件として、栄養になる木材(セルロース系材料)があること、木材の含水率が約 30%以上であること(十分な水分があること)、酸素(空気)があること、温度が生育可能な範囲にあることが必須です¹⁵⁾。家を構成する木材が腐ることは、これらの条件が揃う環境にあることを意味します。通常の住環境では、木材の水分以外を制御するのは困難ですから、腐れの発生の予防には乾燥状態を保持しなければなりません。

4. どんなシロアリが家を加害するか？

シロアリに関する日本文献を辿りますと、現存する最古の文献は 9 世紀前半の「日本霊異記」であり、「仏像の首部分が蟻に噛み砕かれた」と記載されています。この「蟻」がシロアリであろうと考えられていますから、約 1200 年も前から被害を及ぼす虫として認知されていたようです¹⁶⁾。17 世紀末にシロアリを意味する「白蟻」の字句が使われるまでは、「羽蟻」、「飛蟻」、「波阿里」などと記されていました¹⁷⁾。

日本には 4 科に属する 21 種のシロアリが生息していますが、家の大敵は南部に分布が限定されて

いるイエシロアリと沖縄から北海道にまで生息しているヤマトシロアリの2種です¹⁸⁾。これら2種のシロアリは地下シロアリと呼ばれ、地下に蟻道を造って採餌行動をしますから人の目に触れる機会は多くありませんが、新たな群落を形成するために有翅虫が飛び出す際に、一般の方々が目にする場合があります。木材の摂食能力はヤマトシロアリよりイエシロアリが高いことが知られていますが、分布域と人口密度(住宅密集度)から推測すれば、経済的に最重要種はヤマトシロアリ、次いでイエシロアリと言えます¹⁸⁾。

5. 住宅工法の改善による腐れ、シロアリ食害低減の可能性

1950年代以降の日本住宅は、耐震性補強のためにコンクリート布基礎が広く受け容れられています。

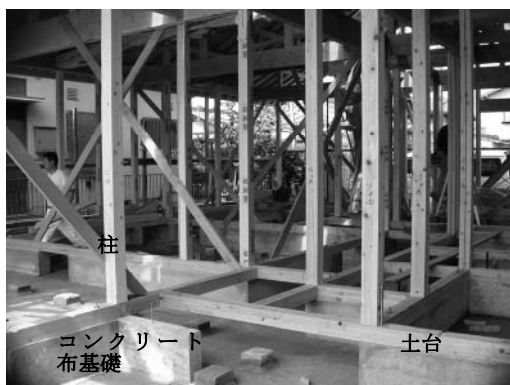


図3 建築中の日本家屋

近年では、床下空間を構成する木材(土台、床束、大引き、根太、床下地材など)の生物劣化を予防するために、床下部の土壌面をコンクリートで覆うことが一般的になっています(図3)。鉄筋を配さずにコンクリートを打設した「土間コンクリート」、布基礎と鉄筋によって一体化を図った「一体基礎」、布基礎と一体化はしていないものの鉄筋を配して補強した「べた基礎」の3つの方法があります。土間コンクリートは亀裂が生じる懸念があり(図4)、防蟻には他の手段を併用しなければなりません¹⁰⁾。一体基礎やべた基礎ではコンクリートに割れが生じ難く、防蟻性は高いと言えます。

さらに、省エネルギー化を達成するために高気密化が図られ、断熱材が使われるようになっていきます。床下土壌面へのコンクリート打設と共に床下の温湿度を住環境と同様にする効果があります。

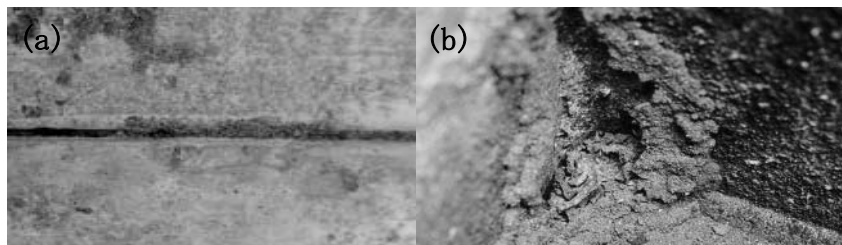


図4 土間コンクリートに生じた亀裂からのシロアリの侵入 [(a): 土間コンクリート亀裂部の蟻土・蟻道, (b): 隅部からシロアリの侵入]

住宅の断熱は居住空間を断熱材で囲ってしまうことであり、断熱構造にする部分は、屋根(天井)、外壁(基礎)、床などがあります¹⁰⁾。基礎断熱や床断熱を模した5年間の野外試験で現在上市されている種々の断熱材の耐蟻性を評価したところ、床や基礎に施用される断熱材の内、蟻道構築あるいは食害が皆無のものはありませんでした。さらに、基礎断熱工法の場合にはシロアリ侵入を誘発しかねないことが判明しました(図5)¹⁹⁾。特に、外断熱工法の場合には、外装仕上げと断熱材料との間や断熱材と布基礎との間に生じた隙間をシロアリが侵入路にしてしまう可能性を忘れてはならないでしょう。シロアリは彼らが通過できる隙間を探り当てる達人ですから油断は禁物です^{20,21)}。

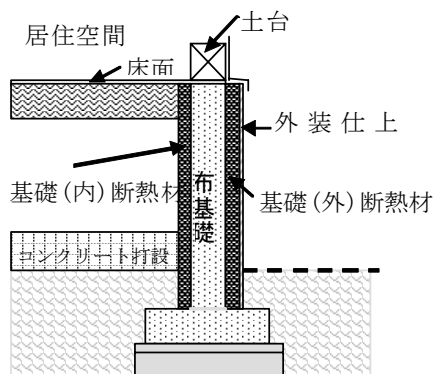


図5 基礎断熱工法

基礎断熱工法の場合には、基礎の内外に断熱材料を施用するのが最も効果的でしょうが、内か外の方であることが多いようです。いずれにしても、断熱材を地中に埋めることになりまますから、シロアリが断熱材上を移動して家の木部材を加害したり、断熱材自体が地中を穿孔してくるシロアリの食害対象になる可能性があります¹⁰⁾。図6に鹿児島での野外試験で確認された断熱材のシロアリ食害の実例を示します。

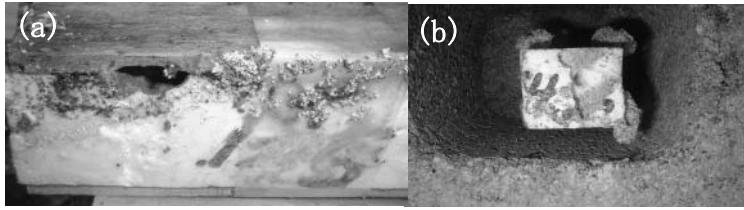


図6 野外試験開始1年後の発泡ポリスチレン断熱材に発生したシロア食害
[(a)：床断熱を模した試験，(b)：基礎断熱を模した試験]

6. 腐れとシロアリ食害を予防・制御する手段

腐れとシロアリから家を保護するためには、攻撃の対象になる木材に耐久性を付与するか、あるいは、腐れやシロアリ食害が発生し難い環境を作り出す必要があります。腐れに関しては、床下地面へのコンクリート打設、防湿シートの施用、断熱工法などによって床下環境が改善された結果、腐れが発生する程の木材含水率(約 30%)になる可能性が低いことが示唆されています²²⁾。しかしながら、調査期間が「家」に期待される耐用年数に比べて短いため、早計に結論を出すことは危険であり、木部の防腐に注意しなければなりません。一方、シロアリの中でも家に甚大な被害を及ぼす地下シロアリ種は、腐れと同じように考えていると痛い目に遭いかねません。ヤマトシロアリはイエシロアリに比べると水分要求度が高く、相対湿度 70%前後で摂食活動が高いことが実験的に確かめられていますが、通常の相対湿度範囲で摂食が停止することはありません²³⁾。しかしながら、床下環境から水分を除去する調湿によって、防蟻にも有効であると考えられていますが^{24, 25)}、完全に防蟻が達成できるわけではありません²⁶⁾。最近の床下地面のコンクリートによる被覆は、適正配合のコンクリートをミスなく施工できれば防蟻障壁として効果があります^{27, 28)}。ネコ土台工法は、床下換気を図る方法ですが、必ずしも防腐・防蟻を保障するものではないようです²⁸⁾。床下環境改善による防腐・防蟻は、結局、いかに水分(湿気)を管理できるかが成否の鍵を握っています。

薬剤に依存しない防蟻をさらに考えてみましょう。腐れなど微生物由来の劣化は水分管理で抑止できそうですから、防蟻の実効を上げるための努力目標に言及します。先ず、敷地内からの木材等シロアリ食害対象物とシロアリに加害された物質を除去することによって、シロアリ密度が低くなる環境を作ることが重要です。山を切り開いて開発される新興住宅地の場合には、自分の家の真下にたまたまあった切り株にシロアリが巣を造営する可能性を想像すれば恐ろしいことですが、山や丘があれば周辺にシロアリがいると覚悟しなければなりません。シロアリが貫通できない物理バリアーを施すことは新築の場合には極めて有効ですが^{21, 27, 28)}、不注意な施工ミスがあれば防蟻目的を果たすことができず、資源の無駄使いに終わってしまいます。我々、一般人ができることとして、家をよく観察することです。シロアリが侵入すれば何らかの変化がありますから、それにいち早く気づくことが、被害を未然に防止し、駆除費用を節約することに繋がります。

従前のように、床下地表面に多量の防蟻薬液を散布したり、5年後に再処理したりする方法は、床下地面へのコンクリート打設の普及に伴い、現実的に困難になってきました。それでは、加害対象である木材を保存剤で処理することによって保護することが想定できますが、処理される木材量は増加していないようです。

7. おわりに

環境負荷の軽減を重視しながら防腐・防蟻を実現できる家はあるのでしょうか？床下地面のコンクリート被覆やネコ土台による床下空間からの換気促進と地面からの水分蒸散の抑制、シロアリ侵入監視システム導入を新築時から行うことは有効な予防措置と言えます。同時に、劣化調査を容易にする構造(床下や天井裏への移動ができなければ、的確な調査できないことがあります)の普及が望まれます。

す。シロアリ食害が発見されれば、少量の薬剤使用で高い効果が得られるベイト工法や回収型土壌処理法に頼るのが賢明でしょう。腐れや蟻害による家の劣化部分の現場駆除処理を、ケミカルフリーに固執して物理的手法だけに依存すれば、かえって環境負荷を増幅させることになるかも知れません²⁹⁾。

参考文献

- 1) 文部科学省・国立天文台編：理科年表(机上版)，丸善株式会社(東京)，1030pp.，2006.
- 2) インターネット・フリー百科事典ウィキペディア(Wikipedia)：日本の住宅，竪穴式住居，木造軸組構法
- 3) Turner II, B. L. *et al.*, The earth as transformed by human action-Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years, Cambridge Univ. Press. (Cambridge, UK), 713pp., 1993.
- 4) FAO : State of the World's Forest 2007, FAO, 44pp., 2006. Population Division of Department of Economic and Social Affairs of the United Nations, Secretariat : World Population Prospects-The 2006 Revision, <http://esa.un.org//unpp>, 2006.
- 5) 上村 武，木材の実際知識，東洋経済新報社(東京)，276pp., 1977.
- 6) 木質科学研究所(現，生存圏研究所)木悠会編，木材なんでも小事典，講談社(東京)，346pp, 2001.
- 7) ノーマン マイヤーズ，ジェニファー ケント，65億人の地球環境，産調出版株式会社(東京)，304pp. 2006.
- 8) 例えば，<http://www.anhouse.co.jp/law-taisin.html>:建築基準法 木造住宅の耐震基準の変遷.
- 9) (社)日本農林規格協会：製材の日本農林規格，農林水産省告示第1625号，1994.
- 10) 住宅金融公庫監修：木造住宅工事仕様書(平成17年改定-全国版)，(財)住宅金融普及協会(東京)，355pp.，2005.
- 11) 西本孝一ほか，産地別ヒノキの耐朽性・耐蟻性，*木材研究・資料*，**20**，104-118，1985.
- 12) 角田邦夫ほか，地下シロアリおよび腐朽に対する八ホウ酸二ナトリウム四水和物(ティンボア)処理家屋土台の劣化抑止効果，*木材学会誌*，**48**(2)，107-111，2002.
- 13) Tsunoda, K. *et al.*, Performance of borate-treated lumber after 10 years in protected, above-ground field test in Japan (Final report), *The International Research Group on Wood Protection Document* No. IRG/WP-30395, 2006.
- 14) 日本木材加工技術協会・木材保存部会編，木材保存ハンドブック，昭晃堂(東京)，906pp.，1961.
- 15) (社)日本木材保存協会編，木材保存学入門(改訂2版)，265pp.，(社)日本木材保存協会(東京)，2005.
- 16) (社)日本しろあり対策協会編，創立30年誌，(社)日本しろあり対策協会(東京)，179pp.，1988.
- 17) 今村祐嗣ほか編，住まいとシロアリ，海青社(大津・滋賀)，174pp.，2000.
- 18) Tsunoda, K., Economic importance of Formosan termite and control practices in Japan, *Sociobiology*, **41**(1), 27-36, 2002.
- 19) 住宅工法および材料開発研究会(代表者 角田邦夫)，野外試験による断熱材料の耐蟻製評価(II)，*しろあり*，**148**，1-9，2007.
- 20) Sornnuwat, Y. *et al.*, Tunneling of subterranean termites, *Coptotermes gestroi* Wasmann and *Coptotermes formosanus* Shiraki, into gravel physical barrier, *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **7**(1), 13-19, 1995.
- 21) 角田邦夫，物理的工法によるシロアリ防除，*住宅と木材*，**29**(344)，14-18，2006.
- 22) (財)住宅・建築省エネルギー機構：基礎断熱工法普及検討事業，平成10年度報告書(増補版)，187pp.，1999.
- 23) Nakayama, T. *et al.*, Effects of humidity changes on the feeding activity of a pest termite, *Reticulitermes speratus* (Kolbe), *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **13**(3), 125-131, 2002.
- 24) (財)日本住宅・木材技術センター，木炭を生かす，76pp.，1997.
- 25) 伏木清行，床下調湿材料のモニターハウス実験，*しろあり*，**112**，16-22，1998.
- 26) 吉村 剛，床下環境とシロアリ，*環動昆*，**11**(3)，125-135，2000.
- 27) Standards Australia, Termite management Part 1: New building work, AS 3660-1-2000, 72pp.，2000.
- 28) 吉村 剛，新しい住宅工法とシロアリ被害，*住宅と木材*，**29**(344)，19-25，2006.

29) 角田邦夫(訳), 住宅管理—英国の住宅に使用される木材の保護と修理, *しろあり*, **139**, 18-26, 2005.

レーダーで探る大気の流れ*

橋口 浩之**

1. はじめに

大気の流れ(風)を測る最も一般的な方法は、プロペラ型の風向風速計で、気象庁のアメダスと呼ばれる約 1300 カ所の自動観測ステーションでも使われています。この風速計を鉄塔に設置すれば高度数十 m までの風速の高度分布を得ることができます。さらに上空の風を測定する手法として最も一般的なのはラジオゾンデ観測です。水素あるいはヘリウムガスを充填した気球に温度・湿度・気圧センサーをつり下げ、約 6 m/s の速度で上昇させて、約 30 km までの観測を行うことができます。観測値は電波にのせて送られると共に GPS 等で時々刻々の気球の位置を知ること、風向風速を観測できます。高高度までの観測が可能ですが、1 回の観測に 2 時間弱かかること、また手間がかかるため連続観測が困難で、気象庁においては通常 9 時と 21 時の 2 回(あるいは 3 時と 15 時を加えて 4 回)/日しか行われていません。特に下層大気では風向風速が時間と共に大きく変化するため、予報精度の向上には高時間分解能の連続観測が必要です。

風向風速の高度分布を連続的かつ自動的に観測するために有効な手段が地上からのリモートセンシングです。風のリモートセンシングには、ドップラー効果を用います。近づいて来る救急車のサイレンは高く聞こえ、遠ざかる場合は低く聞こえるのがドップラー効果です。同様に、移動している物体に電波を当てると反射された電波の周波数は、その速度に応じて発射した周波数からずれます。この周波数のずれ(ドップラーシフト)は物体の速度に比例するため、ずれを測定することで速度を知ることができます。

大気の移動と共に動く物体に電波を当ててドップラーシフトを測定すれば風が分かります。雨滴を散乱体とするのが、主要空港などに設置されている気象ドップラーレーダーです。雨滴は、重力で落下していますが水平方向には風と共に移動するため雨滴の動きから風が分かり、特に航空機の離発着に影響の大きい風の急変(ウィンドシア)の探知に効果的です。しかし、降水時しか観測できないという大きな制約があります。晴天時の大気の乱れを散乱体とするのが、ここで述べる「大気レーダー」(ウィンドプロファイラーとも呼ばれます)です。

2. 大気レーダーの歴史

レーダー(RADAR: RADio Detection And Ranging)は、電波を用いて物体の存在や距離を検知するもので、1940 年に米国で命名されました。その原型は今から約 100 年前に遡り、1904 年にドイツで金属片の検出に成功したのが最初と言われています。1920 年代には、数 MHz の電波を用いて電離層で反射されたエコーを受信することに使われました。距離も不明確で、まだレーダーと呼べるものではありませんでしたが、レーダーの開発は電離層研究として始まりました。1930 年代には対流圏における晴天大気中の気温逆転領域から反射されるエコーを観測しており、同時期に米国で航空機の検知実験が行われています。この 1930~1940 年頃は日本を含む多くの国で開発が行われ、世界最初のレーダーもこの頃にできたものと考えられています。このレーダーは、第二次世界大戦中に大きな発展を遂げ、「米

*2008 年 4 月 17 日作成. 第 4 回生存圏研究所公開講演会(2007 年 10 月 20 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レーダー大気圏科学分野.

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

国が戦争に勝利した大きな要因は爆弾の発達ではなくレーダー技術の発展にある。」とも言われているほどです。

気象への応用は、英国が第一次世界大戦中に航空機への落雷の警報システムとして開発したことから始まります。雨滴は数 mm と小さいため、その観測には高い周波数のレーダーが必要となります。しかし、1930 年代までは技術的に 200~400 MHz までがせいぜいで、より高い周波数は 1940 年代まで待たねばなりません。世界で最初に降水の観測を行ったのは、1941 年に 3GHz レーダーによるものと言われています¹⁾。続いて米国が 1943 年に、また我が国でも 1954 年に気象研究所が気象レーダーを完成させています²⁾。1940 年代に、レーダーを用いた降水観測の理論的根拠が与えられたこともあり、レーダーの気象観測への応用が急速に広がり、1953 年には英国で最初の気象パルスドップラーレーダーが開発されています。

気象レーダーは、降水を電波散乱ターゲットとしているため降水時しか観測できません。しかし、非降水時の晴天大気からも電波は散乱されます。この晴天大気エコーを受信し利用するレーダーは、大気レーダーと呼ばれ、特に風観測に特化したものはウィンドプロファイラーと呼ばれています³⁾。1930 年代後半に、対流圏からの晴天大気エコーが観測され、当初は雷による電離圏からのエコーと考えられていました。しかし、レーダーと航空機の同時観測などから、このエコーが水平方向に成層した構造を持つ大気屈折率の変化に起因する分反射が原因であることが分かりました。1940 年代には 3~10GHz 程度の高い周波数での晴天エコーの観測が行われ、低周波のレーダーに比べて頻度は少ないものの風と共に移動する点状のエコーが観測されました。人間の目には何も見えないところから電波が散乱されるためこのエコーは、当初は「おぼけエコー」そして後には「天使のこだま (angel echo)」と呼ばれるようになりました。この「天使のこだま」はそれまで知られていなかったもので、この原因解明のための精力的な研究が 1950 年代に行われました。当初は昆虫や鳥からの反射と考えられましたが、理論的検討が多くなされ、その集大成とも言えるものが当時ソ連の Tatarskii⁴⁾により成されました。大気中の乱流による大気屈折率の空間的な揺らぎ(スケールが電波波長の 1/2)が電波を散乱させ、レーダーエコーとして受信されるというものです。

降水を主な散乱対象とする気象レーダーは、3GHz 以上の高い周波数のレーダーへと向かっていきましたが、一方 1960 年代後半から数十 MHz の低い周波数の電波を用いる巨大レーダーの建設が開始されました。1930 年代のレーダー開発黎明期に用いられた電波周波数に近づいたこととなります。その目的は電離層中の自由電子の振る舞いを調べることにありましたが、結果としてこのレーダーが大気レーダーの発展に大きな役割を果たしました。最初に建設されたのがペルーのヒカマルカおよびプエルトリコのアレシボで、電子からの微弱な散乱電波を受信するため出力数 MW、アンテナ直径数百 m と巨大なものです。散乱波の位相がランダムなインコヒーレント散乱(Incoherent Scattering)を利用するため IS レーダーと呼ばれています。1960 年代末ヒカマルカレーダーで、インコヒーレント散乱が存在しないはずの高度 60~70 km の中間圏で強いエコーが観測されました。当初はあまり注目されなかったこの現象を解析したのが Woodman and Guillen⁵⁾で、上述した大気乱流による大気屈折率の揺らぎが強いエコーの原因であることを示しました。このエコーを利用すれば電離層のみならず中間圏や成層圏などの中性大気観測が可能になります。これは研究者に大きな刺激を与え次々とレーダーが建設されていくこととなります。IS レーダーよりやや小型で高度 70 km 程度の中間圏(Mesosphere)、成層圏(Stratosphere)そして対流圏(Troposphere)が観測可能なレーダーが MST レーダー、さらに小型で成層圏および対流圏を観測できるものが ST レーダーと呼ばれており、現在世界各国に 20 台以上が建設されています⁶⁾。

また我が国でも、後に詳述するように、IS レーダーと MST レーダーの中間に位置する世界最先端の MU(Middle and Upper atmosphere)レーダー⁷⁾が滋賀県信楽町に、また赤道大気レーダーがインドネシアに(いずれも我々のグループによる)、超高層大気観測レーダーが山川や稚内に(通信総合研究所(現情報通信研究機構)による)それぞれ建設されています。大型レーダーで開発された技術がその後の気象用ウィンドプロファイラーの開発へと発展していくこととなります。

大型レーダーが受信する「天使のこだま」は、大気乱流による大気屈折率の揺らぎに起因します。乱流は風と共に流されるため、このエコーのドップラーシフトを測定することで風の観測が可能になります。1970年代後半、米国は、ラジオゾンデ観測との比較から、大型レーダーによる風の観測可能性についての研究を行いました。1980年代前半までには、VHF/UHF帯大型レーダーで風が十分観測可能であることが明らかになりました。1983年には、現在のウィンドプロファイラーの原型ともいえるべき3つのVHF/UHF帯の周波数(50 MHz, 404 MHz, 915 MHz)のレーダーからなるコロラドウィンドプロファイリングネットワークが構築されました。この施設を用いて観測手法や気象への応用性に関する種々の検証が行われ、その後、米国中西部に400 MHz帯ウィンドプロファイラー35台から成るネットワーク(WPDN: Wind-Profiler Demonstration Network)が1992年に完成しました。これに続いて、世界各国で、ウィンドプロファイラーの開発・改良・観測が精力的に行われ、我が国でも1988年に404MHzウィンドプロファイラーが気象研究所に導入されました。また、1357 MHz帯のウィンドプロファイラーが通信総合研究所(現 情報通信研究機構)と我々のグループで独立に開発されました。2001年には、ウィンドプロファイラーネットワークが気象庁により構築されています。レーダーにおける「天使のこだま」や大型レーダーの研究成果が、1970年代後半のウィンドプロファイラーの黎明期に繋がり、1980年代におけるウィンドプロファイラーの目覚ましい発展、そして現在の華々しい実用化へと生かされてきたのです。

3. レーダーによる大気のリモートセンシング

上空の大気の状態を測定するには、計測機器を気球・航空機・ロケット等に搭載して対象となる大気層に持ち込んで測定する直接測定法(in-situ measurement)と、地上あるいは人工衛星から遠隔測定するリモートセンシング(remote sensing)とに大別されます。リモートセンシングにはさらに、電波・音波・光を自ら送信して散乱信号を受信する active 法と、大気自体からの放射や太陽透過光などを受信する passive 法とがあります。

直接測定の代表例は、全国18ヶ所の気象台・測候所が定常気象観測のために用いているラジオゾンデです。温度・湿度・気圧センサーを小型気球にぶら下げて放球し、気球が上昇する間に時々刻々測定値を地上に電波伝送することで各大気パラメータの高度プロファイルを得ることができます。同時に気球の位置をGPSで定め、気球位置の時間変化から水平風速を求めることもできます。一方、地上からのリモートセンシングの代表例がレーダーです。以下ではレーダーによる大気の観測法について述べます。

上で述べたように、中性大気の乱れ(乱流)は大気の電波屈折率変動をつくり出し、レーダー電波を散乱させエコーを返します。乱流は様々な大きさと強さを持つ乱渦と呼ばれる渦の集まりで表現され、エネルギーは大きな渦から小さな渦に移っていき、やがて粘性のために熱となって消えます。様々な大きさを持つ乱渦の中でも、レーダー電波の散乱に寄与するものは電波の波長の半分の大きさの渦だけです(Bragg 散乱)。粘性でつぶれる乱渦の最小スケールは対流圏では1cm程度ですが、高度と共に指数関数的に大きくなります。従って、高い高度からのエコーを受けるためにはレーダーの波長はできるだけ長い(周波数が低い)方が良いのです。乱流が強いほど強いエコーが得られることから、逆に測定されたエコー強度から乱流強度を推定することができます。

乱流(大気の乱れ)は背景の大気の流れつまり風に乗って移動(移流)して行くので、これをトレーサーと考えてエコーのドップラーシフトから風速の視線方向(レーダービーム方向)成分を求めることができます。鉛直流を含む風速三成分は、天頂付近の異った3方向にアンテナビームを向けて、それぞれの視線方向速度成分から計算により求めます。観測の間隔(時間分解能)は観測高度にもよりますが1~10分程度で、定常気象観測で用いられるラジオゾンデの放球はせいぜい一日に2~4回、気象ロケットに至っては週に1回以下であることに比べて、レーダー観測の時間分解能は格段に優れているといえます。

一般に鉛直流(上昇下降流)は水平速度に比べて1桁以上小さく測定が困難な量です。例えば、ラジオゾンデでは気球自体が浮力により上昇しているため、鉛直流を測定することは原理的に不可能です。大気レーダーでは鉛直上方にアンテナを向けることで、この量を直接に測定することができます。これから大気微量成分やエネルギーなどの鉛直輸送を定量的に見積もることができるなど、鉛直流を直接測定できることは大気レーダーの最大の特長の一つです。

4. 京都大学で開発されたレーダーシステム

4.1 MU レーダー

我々のグループは、ヒカマルカレーダーによる乱流エコーの発見に前後して、大型レーダーの建設を計画し、1984年11月、陶器で有名な滋賀県信楽町の国有林内に完成させました^{8,9)}。このレーダーはMST(Mesosphere, Stratosphere, and Troposphere)レーダーとして世界最高性能を誇る他、ISレーダーとして超高層大気(Upper atmosphere)の一部も観測できるのでMU(Middle and Upper atmosphere)レーダーと名付けられました。直径約100mの円形凹地に八木アンテナ475基を設置しており(図1)、送受信周波数は46.5MHzです。

MUレーダーには当時の最先端のレーダー技術が随所に取り入れられています。最大の特長は、従来の大型レーダーで一般に用いられてきた大電力増幅器による集中型送受信方式を採用せず、475基の八木アンテナそれぞれを小型半導体送受信モジュールで励振する分散型送受信方式(Active Phased Array System)を採用していることです。1台の小型送受信機の送信電力は2.4kWですが、475台の小型送受信機を同時に働かせることにより合計1MWの送信電力を得ることができます。実に通常の放送局の10倍以上の送信電力です。またレーダーシステム全体がマイクロコンピュータを用いてソフトウェアにより制御される柔軟な構成となっており、その結果各アンテナについて送受信信号の自由な位相制御が可能となり、アンテナビーム方向をパルス送信毎に、最高1秒間に2500回という高速で走査できます。また、MUレーダーのアンテナは25個の小アンテナ群に分割することが可能であり、それぞれ独立な小型レーダーとしても動作します。この機能を使うとアンテナ全体を送信に用いて、散乱電波を複数の小アンテナ群で同時に受信するということが可能になります。それぞれの小アンテナ群で受信された散乱電波のごくわずかな位相差を利用すると、乱流等の微細な構造を知ることができるのです。

4.2 赤道大気レーダー(EAR)

「海洋大陸」と呼ばれるインドネシア域は、赤道域の中でも特に積雲活動が活発で、大気大循環の駆動源と言われていますが、これまで中緯度域に比べて観測データが不足していました。そこで、MUレーダーの成果を背景に「赤道大気レーダー」(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)を開発し、2001年にインドネシア共和国西スマトラ州に建設しました¹⁰⁾。赤道大気レーダーは、MUレーダーと同様に分散型送受信方式を採用しており、MUレーダーより一回り大きい直径約110mの略円形フィー



図1: MUレーダー。中央の円形の部分が475本の八木アンテナから構成されるフェーズド・アレイ・アンテナ(直径103m)。

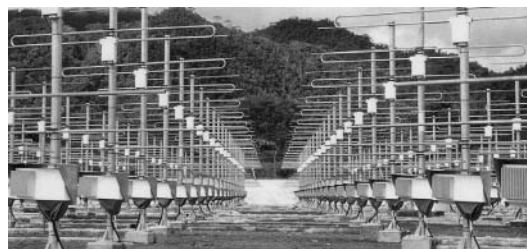


図2: 赤道大気レーダーのアンテナ。

ルドに 560 基の 3 素子八木アンテナを配置しています。図 2 に示すように、各八木アンテナの基部にそれぞれ半導体送受信モジュールが配置されており、電子制御によってアンテナビーム方向を最大 5000 回/秒の速度で高速に走査できる特長を持ちます。中心周波数は 47 MHz、ピーク送信電力は 100 kW で、高度約 1.5~20 km 範囲を連続観測できます。

4.3 境界層レーダー (BLR)

我々は MU レーダー観測の経験を活かして、高度 2~3km 以下の大気境界層を対象とした小型可搬式の境界層レーダー (Boundary Layer Radar; BLR) を開発しました。小型にするため、送受信周波数は 1357.5MHz (L バンド) を用いており、送信ピーク電力は 1kW です。アンテナは直径 2 m のパラボラアンテナを 3 方向に向けた構造をしており、それらを PIN スイッチにより切り替えて使用することで、3 方向の観測を実現しています。1991 年度末に完成し、国内での試験観測の後、インドネシア共和国ジャカルタ近郊のスルボンに移設し、1992 年 11 月から現在まで連続観測を継続しています¹¹⁾。これと同型のものが竹中工務店、関西電力堺火力発電所、福島大学に導入されており、例えば超高層ビルの耐風設計などに利用されています。その後、我々はより可搬性を高めた境界層レーダー 2 号機、フェーズドアレイを用いてビームを 5 方向に高速走査可能にした境界層レーダー 3 号機や、S バンドを用いた車載型境界層レーダーの開発にも成功しています。

4.4 下部対流圏レーダー (LTR)

その後、境界層レーダーの可搬性の特長を残しつつ、より高高度まで観測可能なレーダーを開発しました¹²⁾。下部対流圏全域を観測可能なことから「下部対流圏レーダー」(Lower Troposphere Radar; LTR) と呼んでいます。図 3 に LTR の外観を示します。アンテナには 4 m x 4 m のフェーズド・アレイ・アンテナを用いており、境界層レーダー 1 号機と比較してアンテナ開口は 5 倍



図 3: 下部対流圏レーダーのアンテナ。

に向上していますが、設置に必要な面積はほとんど変わっていません。アンテナ素子には、電磁結合ダイポールアンテナを採用しており、それぞれに 5 ビットの移相器を設けることで、ビームを ±15° 範囲内の任意の天頂角で天頂及び東西南北の 5 方向に高速に走査可能です。移設時には 4 分割可能な構成となっているため、可搬性にも優れています。ピーク送信電力は 2 kW で、最大 8 ビットのパルス圧縮も可能なので、平均電力で境界層レーダー 1 号機の 16 倍の高出力を有します。同型機が気象庁のプロファイラーネットワーク「WINDAS」をはじめ複数の研究機関で採用され、全国 (一部は海外) で使用されています。その後も、船舶に搭載して観測可能とする船舶搭載型下部対流圏レーダーや、ルネベルグレンズと呼ばれる球形のアンテナを用いた下部対流圏レーダーの開発を行っています。

5. 大気レーダーによる気象現象の観測結果

本節では、下部対流圏レーダー (WINDAS) と赤道大気レーダーによる観測結果について、紙面の都合上、それぞれ 1 例ずつ取り上げて紹介します。

5.1 下部対流圏レーダーによる台風 0310 号の中心付近の観測

大気レーダーで観測される物理量は本質的に高さ方向(レーダー直上)の一次元量ですが、数分の時間間隔で観測を連続的に行える点が大きな特徴です。一方、我々は天気が時々刻々移り変わっていくことを経験的に知っていますが、これは様々な気象現象が西から東に向かって移動することによるものです。つまり、地上に固定された大気レーダーの上を気象現象が西から東に動いているのです。このことを利用して、地上に固定された大気レーダーで得られるのはレーダー上空の高さ・時間の二次元データであるものの、時間変化を空間構造に読み替えることで、現象の高さ・距離断面を得ることができます。

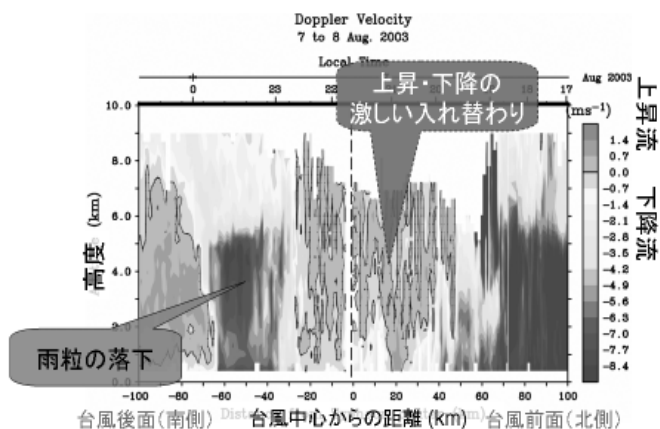


図 4: 下部対流圏レーダー(WINDAS 名瀬サイト)で観測された鉛直成分の台風中心からの距離・高度分布。

2003年8月7日に台風0310号が鹿児島県名瀬市付近を発達しながら最接近し通過しました。図4は、WINDAS名瀬サイトの下部対流圏レーダーで捉えられた台風中心付近の鉛直成分の台風中心からの距離・高度分布です。2m/s以上の下降成分は雨滴の落下速度に対応しており、眼の壁雲と考えられるその領域では強い降水が見られたことが分かります。一方、距離50km以内では、降水は見られず、上昇流と下降流が激しく入れ替わっている様子が分かります。従来、台風の中心付近は下降流が支配的であると考えられていましたが、本観測により、激しく上下に変動していることが初めて見出されました¹³⁾。

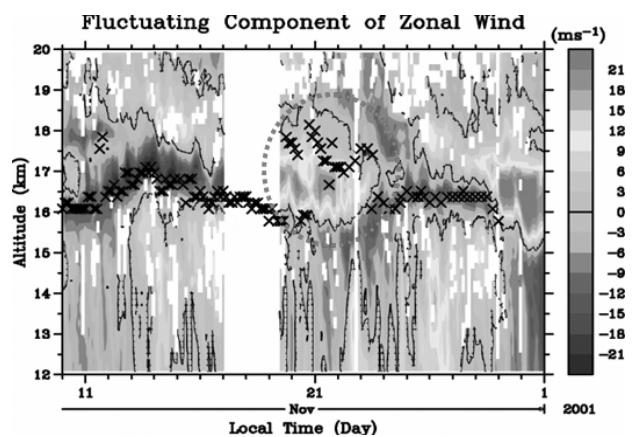


図 5: 赤道大気レーダーで観測された東西風の時間・高度変化。

5.2 赤道大気レーダーによる対流圏界面付近の観測

赤道域では地球上で最も活発な積雲対流活動により、各種の大気擾乱が励起されており、エルニーニョに代表される地球規模の気候・環境変動にも結びつく現象が発生しています。海洋大陸と呼ばれる赤道インドネシアの経度域で特に顕著に発現します。しかしながら、従来の観測データの蓄積は余りに不十分でした。我々は2001年に赤道大気レーダーを西スマトラ州の赤道直下に設置し、赤道大気の連続観測を行っています。

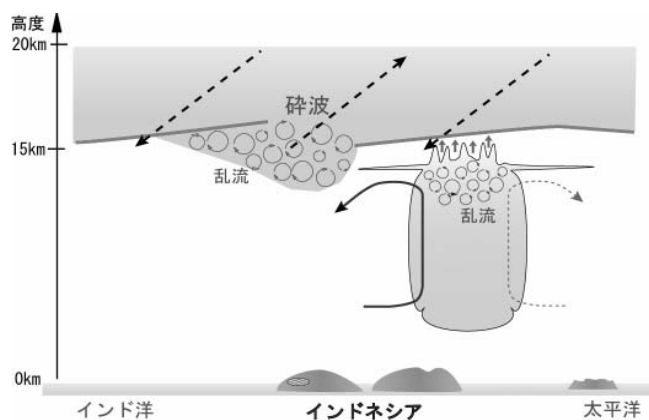


図 6: 対流圏と成層圏の大気混合を示す模式図。

図5は赤道大気レーダーで観測された東西風の時間・高度変化の一例です。×印は

ラジオゾンデ観測により得られた対流圏界面高度です。成層圏領域において、東西風が10日程度の周期で変動しており、時間とともにその高度を下げる様子が見られます。東向き成分が対流圏界面に届いたところ(丸破線の部分)で、対流圏高度のジャンプが見られます。これは赤道ケルビン波と呼ばれる大気波動が、その領域で不安定(砕波)を引き起こす過程を詳細に捉えたものです。図は示しませんが、赤道大気レーダーによる観測から砕波の発生と共に対流圏界面における大気乱流が増強しており、図6に示すように対流圏・成層圏の大気混合が発生していることが初めて明らかとなりました¹⁴⁾。また、赤道大気レーダーの長期連続観測から、対流圏界面上部において風速シアによる不安定現象が準定常的に発生し、薄い大気乱流層が存在していることも明らかになっています¹⁵⁾。これらは、通常は極めて交じり合いにくい対流圏と成層圏の大気塊が、大気波動現象と共に混合する様子を初めて観測的に実証したものです。

6. おわりに

今回の公開講演では、主に本研究所で開発している大気レーダーとそれらを用いた観測結果について述べました。近年、世界各地で大気レーダーのネットワーク利用が進みつつあります。我々のグループも地球観測システム構築推進プラン「海大陸レーダーネットワーク構築」(海洋研究開発機構 山中大学代表)により、今まさに赤道インドネシア域に大気レーダーネットワークを構築しつつあります。大気レーダーの有効利用が21世紀における天気予報の精密化の鍵を握ると言っても過言ではなく、本研究所では大気レーダーによる地球大気の新しい計測技術の開発研究を今後も続けていく必要があります。

参考文献

- 1) Atlas, D., Radar in Meteorology, *American Meteorological Society*, 806pp., 1990.
- 2) Kodaira, N. and J. Aoyagi, History of Radar Meteorology in Japan, *Rader in Meteorology*, 69-76, 1990.
- 3) Hardy, K. R. and K. S. Gage, The history of radar studies of the clear atmosphere, in Radar in Meteorology, *American Meteorological Society*, 806pp., 1990.
- 4) Tatarskii, V. I., Wave Propagation in a Turbulent Medium, *McGraw-Hill*, 285 pp., 1961.
- 5) Woodman, R. F. and A. Guillen, Radar observations of winds and turbulence in the stratosphere and mesosphere, *J. Atmos.Sci.*, **31**, 493-505, 1974.
- 6) Rottger, J. and M. F. Larsen, UHF/VHF radar techniques for atmospheric research and wind profiler applications, in Radar in Meteorology, *American Meteorological Society*, 806pp., 1990.
- 7) 加藤進, 福山薫, 若杉耕一郎, 佐藤亨, 深尾昌一郎, 大型レーダーによる中層大気の観測, 「気象の遠隔測定(I)」, 気象研究ノート, **144**, 1-55, 1982.
- 8) Fukao, S., T. Sato, T. Tsuda, S. Kato, K. Wakasugi, and T. Makihira, The MU radar with an active phased array system: 1. Antenna and power amplifiers, *Radio Sci.*, **20**, 1155-1168, 1985.
- 9) Fukao, S., T. Tsuda, T. Sato, S. Kato, K. Wakasugi, and T. Makihira, The MU radar with an active phased array system: 2. In-house equipment, *Radio Sci.*, **20**, 1169-1176, 1985.
- 10) Fukao, S., H. Hashiguchi, M. Yamamoto, T. Tsuda, T. Nakamura, M.K. Yamamoto, T. Sato, M. Hagio, and Y. Yabugaki, Equatorial Atmosphere Radar (EAR): System description and first results, *Radio Sci.*, **38**, 1053, doi:10.1029/2002RS002767, 2003.
- 11) Hashiguchi, H., S. Fukao, T. Tsuda, M. D. Yamanaka, D. L. Tobing, T. Sribimawati, S. W. B. Harijono, and H. Wiryosumarto, Observations of the planetary boundary layer over equatorial Indonesia with an L-band clear-air Doppler radar: Initial results, *Radio Sci.*, **30**, 1043-1054, 1995.
- 12) Hashiguchi, H., S. Fukao, Y. Moritani, T. Wakayama, and S. Watanabe, A lower troposphere radar: 1.3-GHz active phased-array type wind profiler with RASS, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 915-931, 2004.
- 13) Teshiba, M., H. Fujita, H. Hashiguchi, Y. Shigagaki, M.D. Yamanaka, and S. Fukao, Detailed structure within tropical

cyclone ``Eye", *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L24805, doi:10.1029/2005GL023242, 2005.

- 14) Fujiwara, M., M. K. Yamamoto, H. Hashiguchi, T. Horinouchi, and S. Fukao, Turbulence at the tropopause due to breaking Kelvin waves observed by the equatorial atmosphere radar, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1171, doi:10.1029/2002GL016278, 2003.
- 15) Yamamoto, M. K., M. Fujiwara, T. Horinouchi, H. Hashiguchi, and S. Fukao, Kelvin-Helmholtz instability around the tropical tropopause observed with the equatorial atmosphere radar, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, doi:10.1029/2002GL016685, 2003.

人類が生存する宇宙圏の 2050 年の姿を予想する*

山川 宏**

1. はじめに

ブラックホール存在の痕跡や遠方の銀河の軌道上望遠鏡による観測、地球あるいは惑星近傍に配置された望遠鏡やセンサによる惑星観測・探査、地球周回軌道上に配置した人工衛星による地球環境モニタ、それらのデータに基づく日々の天気予報、そして、人類の宇宙空間活動の場を提供する宇宙ステーション。1957年に人類が初めての人工衛星スプートニク1号を宇宙空間に飛ばしてから50年の間に、さまざまな目的のために地球の近くから遠くは惑星にまで、人類は人工衛星を送ってきました。日本も1970年に最初の人工衛星「おおすみ」を打上げ、その後も、固体燃料のM-Vシリーズロケット、液体燃料のH-IIAシリーズロケット等を用いて、着実に人工衛星を打上げてきました。スプートニク1号からたった12年で人類がアポロ11号で月面に降り立ったことと比較して、その後の宇宙開発の進歩は目覚ましくないという人もいます。しかし、火星、金星を始め、水星、木星、土星、小惑星、彗星、そして、冥王星に向けて、当たり前のように惑星探査機が飛翔し、通信・放送衛星から科学衛星までを製造する衛星メーカーが当たり前存在になり、日本国内の多くの大学が自前の超小型衛星を目差す時代になったことは、やはり大きな進歩があったと言わざるを得ないのだと思います。1つ宇宙技術が普及していることを示す小話があります。宇宙開発予算の削減を唱えていた人が、「国民の税金を宇宙開発に投ずるよりは、GPS (Global Positioning System) のような技術を開発すべきだ」と言ったそうです。説明はヤボではありますが、GPSシステムは、地球周回軌道上に24機の衛星を配置して初めて機能するものです。これは多少の誇張がある話しかもしれませんが、宇宙にある人工衛星システムの部分が見えないほどに、宇宙関連技術が日常生活に浸透していることを示しています。自動車や飛行機までの日常性には及ばないものの、かなり宇宙も、それに近い状態になりつつあるということを示すものでしょう。しかし、これからの50年間はどのような方向に宇宙開発は進むのでしょうか。現在の携帯電話を使った生活がたった20年前には全く予想できなかったように、2050年頃までには、現在では想像もできないほど人類は宇宙空間に進出していると思います。その未来の姿の予想を、人類の活動する宇宙の範囲に注目して、宇宙に到達するための乗り物である宇宙機、そして、宇宙に到達するまでに要する飛行時間という観点から紹介します。

2. 月旅行に要する時間

私は、宇宙科学研究所(2004年から宇宙航空研究開発機構)にて、ロケットと科学衛星の開発、および、軌道工学の研究に従事し、引き続き2006年秋から、京都大学生存圏研究所にて、宇宙探査、宇宙システム工学の研究教育に従事しております。学生時代は、軌道工学を研究する者にとって非常に良い時代で、修士課程の時は月スイングバイミッション「ひてん」、博士課程の時代は地球磁気圏観測衛星GEOTAILの軌道計画に従事しておりました(図1)。スイングバイというのは、意図的に探査機を惑星(月)の近くを通らせて、その天体の重力によって探査機の速度の大きさおよび

* 2008年4月2日作成

** 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所生存圏開発創成研究系

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

方向を制御する技術のことを指します。惑星（月）から見ると接近前後の相対速度の大きさは変わりませんが、相対速度の方向が変わるために太陽（地球）中心から見た速度は増減することになります。英語では *swing-by* と書きますが、その名前の通り「天体が探査機を掴んで放り投げている」ようなものです。スイングバイは、探査機の燃料を使わずに大きな軌道の修正を行うことができるという利点があります。1990年に打上げられた「ひてん」は計画されていたすべての正規ミッション（多数回月スイングバイ、孫衛星「はごろも」の月周回軌道への投入等）、および、予定外の延長ミッション（地球大気による意図的な減速実験、母衛星「ひてん」の月周回軌道投入等）も終わって燃料が尽きたので、計画的な月面衝突によってその生涯を閉じましたが、「数 m/s の軌道速度修正で地球周回軌道に戻せるのに月面に衝突させるのはもったいない」と当時の先生方に主張していたことが懐かしく感じられます。図1は、1992年に打上げられた GEOTAIL 探査機の軌道の概念図です。原点に地球、そのまわりの円は月の軌道を示しています。いつも、GEOTAIL 軌道の遠地点方向は、太陽方向と反対側に制御されることがわかります。GEOTAIL（地球のしっぽ）は、「ひてん」で培った宇宙航行技術、月スイングバイ技術を用いて、連続的に、太陽と反対側に広がる地球の磁気圏の観測を可能とした探査機で、京都大学の観測機器が搭載されており、1992年に打上げられて以来、2007年現在も観測を続行しています。

前記の2つの例（「ひてん」と GEOTAIL）では、月重力を利用するために月のすぐ近くを通過（フライバイ）することが主な目的でしたので、数ヶ月をかけて、それぞれ10回以上、月の近くを通過するというシーケンスでした。また、2007年9月に打上げられた月探査機「かぐや」は、長楕円軌道上で、地球のまわりを2周半をして、20日の飛行時間を経て月に到達しました。月に到達するまでの飛行時間は約3週間でした。また、博士論文のテーマは「重力キャプチャーを用いた地球-月遷移軌道に関する研究」でしたが、残念ながら実現はしていませんが、月ペネトレータミッション LUNAR-A で用いられる予定の軌道でした。重力キャプチャーとは、大気抵抗などを使わずに重力のみによって、天体の影響圏外から接近する物体が、天体に対して通常の変曲線軌道で予想されるよりも低い相対速度を最接近点で達成する軌道です。条件によっては天体のまわりを一時的に周回する場合があります、惑星の衛星の起源を説明する1つの説と考えられています。月到達時には重力キャプチャーを、そして地球から月に遷移する間では太陽重力を積極的に応用することで、より少ない減速用燃料で同じ月周回軌道を実現できるというメリットがあります。アポロ宇宙船のように直接月に向かう場合と比較して、LUNAR-A では150 m/s 程度の減速量の節約になりますが、飛行時間はそのかわり約3ヶ月程度かかります。今まで述べた計画はすべて無人の計画でした。アポロ計画では、宇宙飛行士が搭乗していたので、多少の燃料節約よりは、できるだけ飛行時間を短くすべく、約3日をかけて、まっすぐ月に向かって月周回軌道に入るというシーケンスを採用していました。

以上のように、同じ月が目標の探査機であっても、その目的によって、軌道計画が大幅に異なり、それに伴い、飛行時間も3日から3ヶ月まで幅があることがわかります。強調すべきは、有人飛行の場合は、やはり最短の飛行時間を採用しているということです。

3. 宇宙航行の飛行時間 ～火星、金星の場合～

それでは、月の次に、地球に近い惑星達、火星、金星の場合は、どの程度の飛行時間がかかるのでしょうか。答えを先に言うと、それぞれ9ヶ月程度、6ヶ月程度ということになります。地球を脱出してから火星に到着するまでの軌道は太陽を重力中心とする軌道であり、最も一般的なケースでは、地球離脱時にロケットあるいは探査機搭載のエンジンにより加速をし、火星到着時に探査機搭

載エンジンによる減速をして火星周回軌道に投入します。その間の惑星間巡行フェーズでは、慣性飛行をしています。従って探査機搭載推進系の燃料を減らし火星に持っていきけるペイロード重量を最大化するためには、地球出発時に必要な増速度量 ($\Delta V1$) と火星到着時に必要な減速度量 ($\Delta V2$) の和 ($\Delta V1 + \Delta V2$) が最も小さくなるように地球離脱と火星到着時期を選ぶのが得策であるということになります。一般に、出発時の地球の位置と到着時の火星の位置が太陽に対して 180 度反対側にあるときに、最も少ない軌道速度制御量により火星に到達可能です (図 2)。これをホーマン (Hohmann) 移行軌道と言いますが、地球および火星の公転軌道が同一面内の円軌道であると仮定しています。実際には、地球および火星の公転軌道はやや楕円軌道であり、かつ同一軌道面内にはないので、地球、火星の位置は 180 度からは多少ずれることとなります。

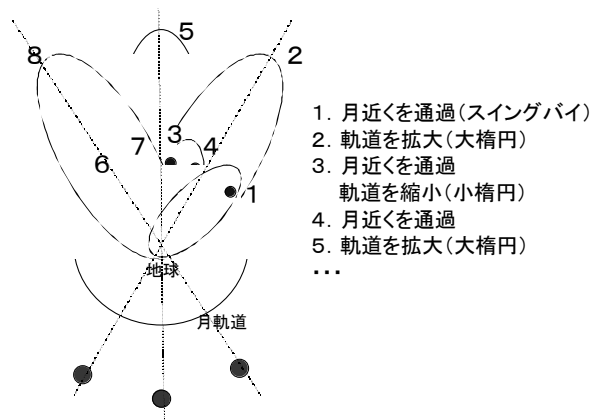


図1 地球磁気圏探査機 GEOTAIL の軌道図¹

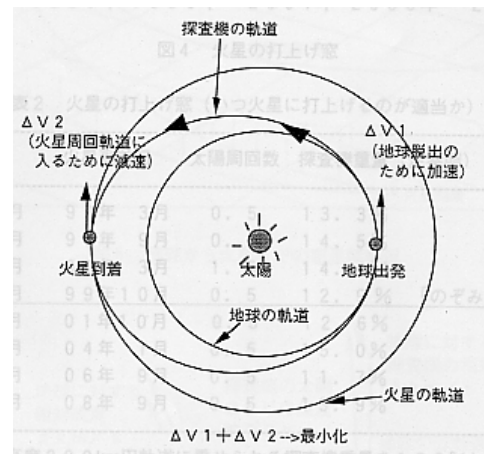


図2 地球から火星に行く太陽周りの軌道

以上より、効率良く火星探査機を打ち上げるためには、地球と火星がさきほど述べた太陽に対して反対側の位置関係を満たすときに打つのが良いということになります。そのような機会ほぼ 2 年に一度あり、その機会のことを「打上げ窓」と呼びます。表 1 に 1996 年～2007 年のうち具体的にいつが適当なのかを示します。日本の火星探査機「のぞみ」が打上げられた 1998 年もそのうちの 1 つの機会だったことがわかります。

表1 火星の打上げ窓

地球脱出日	火星到着日	太陽周回数	探査機重量 (LEO 重量比)
98年12月	99年10月	0.5	12.9%
01年4月	01年10月	0.5	12.6%
03年6月	04年1月	0.5	15.0%
05年8月	06年9月	0.5	11.7%
07年9月	08年9月	0.5	13.9%

4. 宇宙航行の飛行時間 ～水星の場合～

惑星探査における軌道計画には、無数にある可能性から科学的工学的に最もふさわしい惑星探査ミッションを発見するという醍醐味があります。特に、地球から離れている水星（および木星等の外惑星）の軌道計画は工夫すべき点が多くあります。一般に、いかに多くの観測機器を持っていくか、あるいは、全重量の半分以上を占めることもある必要な搭載燃料をいかに少なくするかと

いう点で勝負することになります。素直な惑星移行軌道を考えると、地球を脱出して太陽を中心とする軌道上を慣性飛行し、目標惑星に到着したときにブレーキをかけて周回軌道に投入することになります。しかし、ロケットの投入能力に制限があるために十分な重量の探査機を持っていけないことがあり、燃料効率の良い電気推進エンジンや、月・惑星スイングバイという手法をしばしば用います。

ここでは、水星ミッションの軌道計画について説明します。3つの範疇に分かれます。1つは、水星-水星遷移フェーズにおいて電気推進を用いる多数回水星フライバイミッションで、計6回水星フライバイを打ち上げ後3年という短い飛行時間で行い、磁気圏観測、撮像の観点から多様なフライバイジオメトリを実現するものです(図3)。2つ目は、電気推進の使用を想定した水星ランデブーミッションであり、打ち上げ後に金星スイングバイを経て、さらに太陽を5.5周回して2.3年という短い飛行時間で水星に到着します(図4)。この軌道はスイングバイ、低推力、多周回という設計しにくい要因がすべてそろって厄介な軌道です。

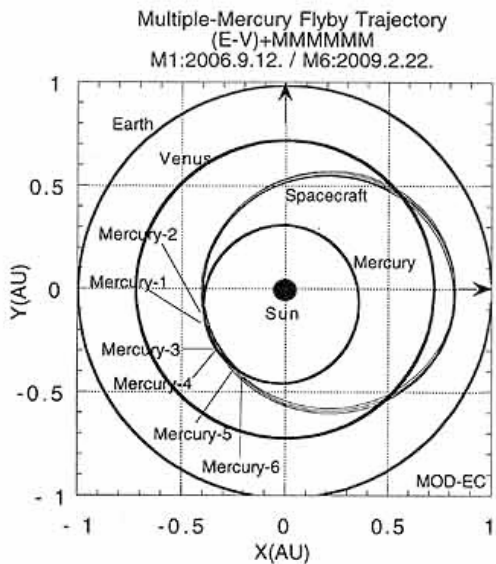


図3 電気推進による水星フライバイ探査²

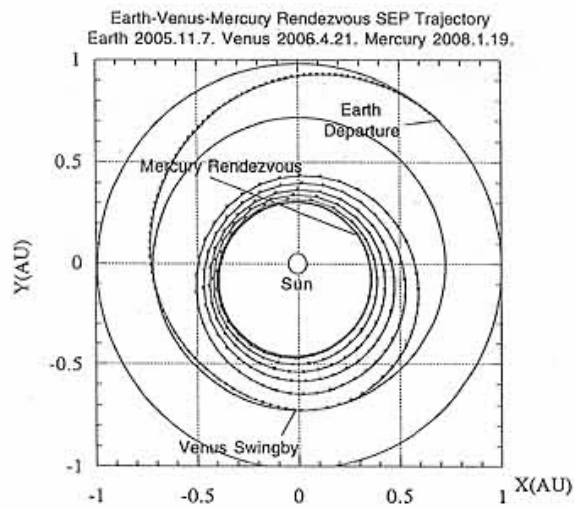


図4 電気推進による水星ランデブーミッション³

3つ目は、化学推進の使用を想定した水星ランデブーミッションで、打ち上げ後に金星と水星の多数回のスイングバイを経て水星に到着します(図5)。図5の軌道は、化学推進の使用を想定した水星オービタミッションで、打ち上げ後に金星(2回)と水星(2回)の多数回のスイングバイを経て最終的に4年強で水星周回軌道に投入されます。最初に金星スイングバイを利用するのは、直接水星に向う場合は打ち上げ時のエネルギーが高すぎるためであり、まず、行きやすい金星に向かいます。2回の金星スイングバイにより遠日点距離は金星軌道付近、近日点距離は水星軌道付近まで低くできます。2回の金星スイングバイ間の飛行時間をちょうど金星の1公転周期として空間上の同じ点で行うようにすることで、その間の軌道面の設計の自由度を増やす工夫をしています。しかし、このままでは水星に到着したときの水星との相対速度は6km/sであり、水星周回軌道に投入する場合、探査機総重量のうち10%程度のペイロードしか残らないこととなります。そこで、飛行時間は長くなるものの、水星- ΔV -水星- ΔV ...というシーケンスをくり返す作戦を取ります(ΔV は速度修正)。この方法はジェット推進研究所のChen-wan Yen氏が約25年前に確立した方法で、水星と水星の間の遠日点付近で行われる僅かな量の ΔV によって水星に再接近する位置を移動させ、

水星との相対速度を大幅に低減していくものです。最初と 2 回目の水星接近の間の飛行時間は水星公転周期 88 日の 3 倍程度で、その間に探査機は太陽を 2 周します。その結果 2 回目の水星接近時の相対速度は 6km/s から 5km/s に減っています。2 回目と 3 回目の水星接近の間の飛行時間は水星公転周期の 4 倍であり、その間に探査機は太陽を 3 周します。その結果、3 回目の水星接近時の相対速度は 3.5km/s まで低減されます。このように飛行時間は長くなるが、探査機総重量のうち 30% 程度のペイロードを持っていくことが可能となります⁵。

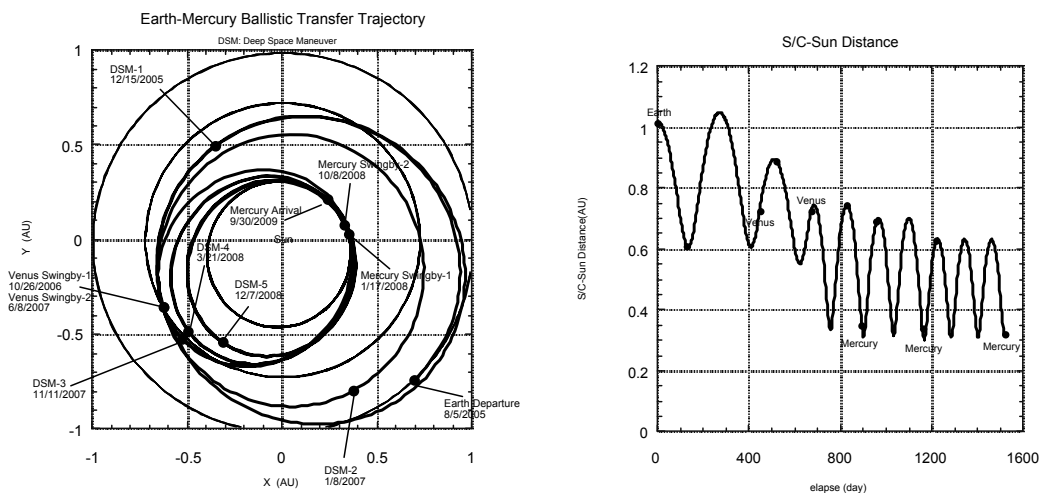


図5 化学推進による水星ランデブーミッション (左: 軌道図、右: 太陽からの距離の変化)⁴

5. 人類は 50 年後に太陽系のどこまで活動範囲を広げるのでしょうか？

ここまでの話を飛行時間に関してまとめると、月まで最短で 3 日、火星まで 9 ヶ月程度、金星が 6 ヶ月程度、水星が 2.3 から 4 年程度となります。惑星探査の軌道計画これですべてではなく、他に、小惑星、彗星等の小天体、木星、土星等の外惑星の探査ミッションが考えられますが、例えば、搭載する推進エンジンに依存して、飛行時間は 3 年～10 年程度になります。近未来の宇宙推進エンジンとして鋭意開発が進められている大推力（あるいは高燃料効率）の電気推進エンジン、太陽光の加速を利用するソーラーセイル、太陽から噴出する高速のプラズマを推進力に変換する磁気プラズマセイル、そして、原子力エンジン等が実現しても、ニュートン力学の範囲内で宇宙航行する宇宙船を使った場合は、飛行時間は短縮されたとしても、せいぜい半分程度と思われる。

この数字を見て、みなさんは、自分自身が宇宙船に搭乗して惑星に行きたいと考えるでしょうか。（私は行ってみたいのですが）ほとんどの人はノーと答えると思われる。一般の感覚では、どんなに安全性が高いと言われても躊躇すると思われる。しかし、（私を含めた）一部の人は、是非、惑星に行ってみたい、この目で見てみたいと思うはず。人類の過去の進歩が、人類の予測の範囲を超えることが恒ですが、ここでは控えめに予測することにします。人類は、20 世紀初頭まで世界中を探検し、その後、主に自動車、飛行機による大量輸送時代を迎えました。この事実を宇宙圏に拡大して考えると、宇宙黎明期 1950 年から 2050 年までの 100 年は、太陽系の全域を無人でくまなく探査する大航海時代に相当すると考えられます。無人探査、および、一部の人間による月、小惑星、火星等、比較的行きやすい天体への間欠的な往復探査が実現していると予想します。個人的には、月や火星よりも、地球近傍の小惑星での有人探査が進むと予想します⁶⁻¹¹。しかし、人類が探査すべき、あるいは、進出すべき、もう 1 つの場所があります。それが、以下に述べる地球近傍の

ラグランジュ点領域です。

6. 地球近傍の宇宙空間はどうなっているのでしょうか？

6.1 ラグランジュ点を周回する軌道の活用

遠い惑星ばかりに目を向けてきましたが、地球近傍はどうなっているのでしょうか。地球周回軌道はもちろん50年後も宇宙に出ていくための最初のステップという位置づけですが、ここでは、太陽-地球系のラグランジュ点の利用可能性について注目します。ラグランジュ (Lagrange) によって研究された円軌道制限3体問題では、第3天体(衛星)が第1、第2の天体の運動に影響を与えず(“制限”の意味)、第1天体と第2天体とその重心周りに円軌道を描いていると仮定します。2つの天体の重力と遠心力が釣り合う平衡点は、天体1と天体2が描く軌道面上に5つ存在し、これらの点をラグランジュ点と呼びます。2天体から等距離に位置する点をL4およびL5、そして、2天体を結ぶ線上にある点をL1,L2,L3と呼びます。2つの主天体を結ぶ線上にあるL1, L2, L3近傍の微小運動は線形不安定であり、2つの主天体と正三角形をなす点L4, L5近傍では安定であることが知られています。第1天体が太陽、第2天体が地球の場合、L1点およびL2点は地球から約150万kmの距離に位置し、地球重力圏の境界に相当します。これは、地球から太陽までの距離の約百分の1の距離、地球から月までの距離の約4倍に相当します。このL1およびL2を半年周期で周回するハロー軌道が存在することが知られており、非常に少ない軌道保持制御(2~3カ月に数m/s)で、その領域に位置させることができます。ハロー軌道には、静止軌道と同程度以上の規模の衛星を打上げ可能です。例えば、高度250kmの地球周回低軌道に10tonを投入可能なロケットを想定した場合には、高度36,000kmの静止軌道に2.0tonの衛星、ハロー軌道には2.5tonの衛星を投入可能です。ハロー軌道は、太陽・地球・月がいつもほぼ同じ方向にあるという特徴があり、安定した熱環境、重力環境が得られ、そのため、宇宙観測に適しており既にいくつかの天文衛星が飛翔しています。

6.2 深宇宙港構想

私自身も検討メンバーであった JAXA 長期ビジョンにおける宇宙科学(深宇宙港構想含む)の記述を参考に、ラグランジュ点利用の今後の展開を予想してみましょう。20年後には、重力や熱環境等が優れたラグランジュ点で、宇宙観測のための軌道上望遠鏡ミッション(編隊飛行望遠鏡、干渉型高解像度望遠鏡、重力波望遠鏡等)が実現されているはずですが、50年後に向けては、月や地球重力圏(ラグランジュ点)を太陽系に広がる人類活動のための新しい場として活用する「深宇宙港構想」が何らかの形で実現していると予想されます。深宇宙港構想とは、「人類の科学・探査に携わる観測装置、惑星探査機、利用拠点、有人活動、宇宙輸送系等の宇宙活動のさまざまな要素が、地球から150万kmの位置にあるラグランジュ点(L1,L2)の領域を中心・起点(Gateway)にして、観測・建設・補給・出発・帰還をするという世界の宇宙活動全体の枠組み」を港と表現しているものです(図6)。

太陽系全体に活動領域を広げた将来においては、「片道の宇宙探査」から「往復の宇宙利用」へと転換が図られることになることは確実だと思います。これは、現在のように全てのリソースを地球上から運搬する「片道の宇宙探査」だけではなく、組立・保守、補給機能などを有する“中継点”をラグランジュ点に国際共同で展開して、必要なリソース補給や物資積み替えなどを行うことで、より効率的な「往復の宇宙利用」が実現されることとなります。有人火星探査や、月・小惑星の定常的な利用も「往復の宇宙利用」の姿の1つとなると思われます⁶⁻¹¹。

L1, L2点周辺(ハロー軌道)は先に述べたように宇宙観測に適しているだけでなく、地球・月重力圏内外への移動が容易である輸送の中継点であるために、修理・補給・出発・帰還のための機能を担うの

に適しています。わずかなエネルギーを付加することにより、L1点周辺から太陽や金星等の内惑星側の領域への移行、あるいは、L2点周辺から火星、木星等の外惑星側の領域に移行することが可能です。また、地球-L1,L2間、L1とL2の間の移動も容易です。このように、L1、L2点は、地球・月重力圏内だけでなく、地球と太陽系全体の間での最適な中継点（Gateway）として機能するポテンシャルを持っています。地球表面から出発して地球重力圏を離脱するには、上昇中の重力による輸送重量の損失を軽減するために大推力を持つロケットは必要です。一方、地球重力圏を抜け出した後に大きな軌道制御能力が求められる場合に、輸送重量を十分確保するためには、推進力の大きさよりも、燃料効率（単位燃料重量あたりに増速できる量）を高めたエンジンを利用することが得策です。例えば、太陽電池や原子力を利用したイオンエンジンや太陽光圧を利用したソーラーセイル等、液体ロケットや化学推進エンジンよりも1桁以上燃料効率の高いエンジンが挙げられます。もちろん、推進性能（推進力、燃料効率）の技術レベルだけではなく飛行時間とのトレードオフを行なう必要があります。従って、将来の予想される形態として、地球・月の重力圏界内の移動には従来の通りロケットが使用され、地球・月重力圏の外の太陽系空間への移動には高燃料効率エンジンが使用されることとなります。これは、太陽系空間への「片道」のミッションにも適用されますが、将来の「往復」の宇宙利用を考えた場合はさらに効率を上げることとなります。このとき太陽—地球系のL1やL2点において、組立・補給・出発・帰還することにより、地球・月重力圏からの離脱・帰還に必要なシステムを太陽系空間にまで携行する必要がなくなります。このように地球・月重力圏内と外の輸送系を分離・集中することにより、地球・月圏を含む太陽系空間における移動手段を使い捨てではなく、再使用化することが可能となります。これが、太陽—地球系のラグランジュ点を起点とする50年後の宇宙活動の予想される姿です。

今回、主に、到達可能領域という観点から50年後の人類の宇宙圏について記述しましたが、環境・エネルギーに対する宇宙圏の利用方法について別の機会に譲りたいと思います。

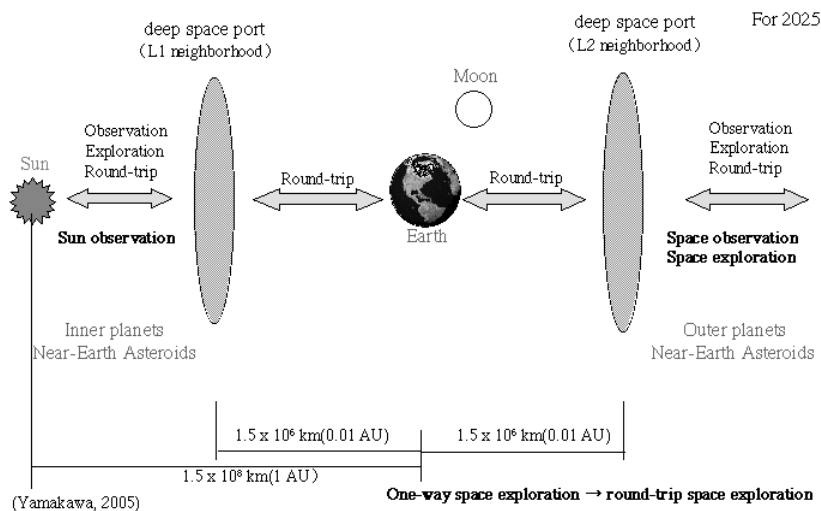


図6 ラグランジュ点と深宇宙港構想⁶

参考文献

- 1) K. Uesugi, J. Kawaguchi, H. Yamakawa and M. Matsuoka, Shutdown Operation of the GEOTAIL in a Shadow of the

- Moon, International Symposium on Space Flight Dynamics, Russia, May 22-28, 1994.
- 2) H. Yamakawa, J. Kawaguchi, K. Uesugi and H. Matsuo, Frequent Access to Mercury in the Early 21st Century: Multiple Mercury Flyby Mission via Electric Propulsion, *Acta Astronautica*, Vol. 39, No. 1-4, pp. 133-142, 1996.
 - 3) H. Yamakawa, Solar Electric Propulsion Mercury Orbiter Mission Design, *The Journal of Space Technology and Science*, Vol. 14, No. 1, 1998, pp. 1-10.
 - 4) H. Yamakawa, ISAS Mercury Orbiter Mission Trajectory Design Strategy, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, Vol. 21, Special Issue, 1999, pp. 270-279.
 - 5) 山川宏, 川口淳一郎, 「軌道計画の技」, 惑星探査テクノロジー第2回, *ISAS ニュース*, No.230, 2000.5.
 - 6) 山川宏, 太陽系探査の展望と深宇宙港構想について, 平成16年度システム計画研究会(テーマ: 太陽系探査と深宇宙港), 相模原キャンパス, 2005年3月30日.
 - 7) Farquhar, R. W., Future Missions for Libration-Point Satellites, *Astronautics and Aeronautics*, Vol. 7, No. 5, May 1969, pp. 52-56.
 - 8) J. Kawaguchi and M. Yoshimura, Deep Space Quay at L2 and Low Thrust Departure / Return Flight Strategy, 16th International Symposium on Space Flight Dynamics, December 3-7, 2001.
 - 9) R. W. Farquhar, et al., Utilization of Libration Points for Human Exploration in Sun-Earth-Moon System and Beyond, *Acta Astronautica*, Vol. 55, pp. 687-700, 2004.
 - 10) Nakamiya, M., and Yamakawa, H., Earth Escape Trajectories Starting from L2 Point, *AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference and Exhibit*, Keystone, Colorado, Aug. 21-24, 2006.
 - 11) JAXA 長期ビジョン -JAXA 2025-, 宇宙航空研究開発機構, 2005年3月31日.

歴史的建造物由来古材のデータベース構築に向けて*

—文化財指定建造物修理事業からの古材提供—

横山 操**, 杉山 淳司**, 伊東 隆夫***, 川井 秀一****

Establishment of the database of aging wood

from Japanese historical buildings*

—Collecting samples of wooden buildings listed as a National Property

of Japan under repairing—

Misao Yokoyama **, Junji Sugiyama **, Takao Itoh ***
and
Shuichi Kawai ****

概要

文化財指定建造物由来古材の収集は、木材という材料の経年変化を把握し、木材の材料寿命・寿命予測を目指した静かな取り組みとして着手した。本稿はここ数年の成果をまとめたものであるが、世界に類無き古材のコレクションとして充実してきた。今後、このような活動をさらに進展させるとともに、寄贈頂いた古材を生存圏研究所における「もの」のデータベースとして有意義に利活用してゆく基盤を構築する。

1. はじめに

わが国には、現在、国宝・重要文化財に指定された 4178 棟の建造物があり、その歴史的文化的価値の高さによって、一部は UNESCO 世界遺産にも登録されている。1200 年を超えて現存する法隆寺をはじめ、これらの文化財指定建造物の 90%以上が木造である。このことは、アメリカ・ヨーロッパ諸国との比較においても、また、東アジア・東南アジア諸国の中においても、“木の文化”がわが国の一つの大きな特徴であることを示している。

これらの文化財指定を受けた建造物はその価値を損なうことなく後世に伝えるため、定期的な保存修理が行われている。指定文化財の保存修理事業については、文化庁が主導し、修理工事に先立っては、予め

* 2008 年 9 月 16 日受理

** 〒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: myokoyama@rish.kyoto-u.ac.jp, sugiyama@rish.kyoto-u.ac.jp

*** Nanjing Forestry University, 159, Longpan Road, Nanjing 210037, Jiangsu Province China

E-mail: takao.itoh@nifty.com

**** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所循環材料創成分野

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

学術調査が行われている。その科学的調査の有無や調査研究の手法は、保存修理事業の規模や修理事業担当者の采配に依存し、また、文化財保護法に基づく厳重な管理のもとに、きわめて限定された手法によって行われているのが実情であるが、系統的な科学調査を行い、その成果を集積し、広く共有していくことが望まれている。

このような背景のなか、研究課題“木材の材料寿命—歴史的木造古建築および木彫文化財由来の試料を用いた検討—”(平成17年度・基盤研究B：代表者川井秀一)では、木質科学(組織・化学成分・物性)、美術史、建築史、文化財保存修復学など専門を異にする研究者らとの学際的共同プロジェクトとして、文化財に使用される木材の人文科学的記述と自然科学的手法を併用した多角的評価を行ってきた。また、この研究課題と平行して、生存圏研究所のミッション4 森林圏と生活圏に関わる研究課題として“歴史的建造物由来古材の材質評価に関するデータベースの構築”を行うことにより、文化財指定建造物由来古材を研究対象とし、文化財保存修理事業を主導する行政機関、文化財所有者の協力を得て、生存圏研究所材鑑調査室において、古材の組織的な収集と保存管理に注力し、現在、飛鳥から現代にいたる歴史的建造物古材を400点以上有し、それらのデータベースを構築しつつある。

ここでは、これらの研究活動に関連して、文化財保存修理事業から研究用試料としての古材提供を受けられるようになるまでの経緯について報告し、同時に依頼された使用用材の樹種識別結果の一例について(修理事業報告書に未掲載のもの)記載する。

2. 文化財建造物保存修理事業における古材調査と古材の保存

文化財保護法制定(1950年)から現在まで、文化財の保護の対象となるものは“有形”と“無形”のものがあるが、いずれも文化財として規定されることの意義は、保護・伝承の対象となることによって、文化財に込められたさまざまな情報を将来に伝えることにある。

文化財建造物の保存は、近代国家においては、ナポレオン戦争後の西ヨーロッパで1830年代に始まったとされるが、日本では、1897年の古社寺保護法の制定と、その翌年の薬師寺の東塔の修理の着手で開始されたとされている。古社寺保護法では、その保護の対象は社寺建築であったが、その後、国宝保護法(1929年)制定以降は城郭・邸宅・茶室がその保護の対象となった。さらに、保護法制定以降は、民家や明治洋風建築、近世社寺、近代化遺産、近代和風建築などその種類と時代が拡大されており、このような指定建造物の詳細は文化庁文化財保護部建造物課による国宝・重要文化財建造物目録¹⁾等に詳しい。

これらの文化財保護法制定当時から現在に至るまで、指定文化財の修理においては、数々の調査が行われているが、木材については、保存のための修理技術として、接着剤や人工木材(木粉と合成樹脂)については保護法制定後の初期段階から報告されているものの、木材そのものの科学的調査は、報告例は多くない。近年になってようやく、年輪年代や放射性炭素年代による年代計測の報告が行われつつあるが、樹種識別に関しては、現在においても、修理技術者や宮大工らの肉眼による判断に任されており、修理工事報告書に記載される樹種は、光学顕微鏡を用いた組織観察に基づくものではない²⁾。

また、文化財の修理においては、使用されていた原材料の再利用(元使い)が原則であり、一部、次の修理のための参考資料とするべく“保存材”として屋根裏や床下に保存される場合を除いては、文化財の一部も文化財であるとする慣例がある。そのため、やむなく取り替えられて不要になったものも“門外不出”として処分されており、文化財所有者から仏法作法・茶道・華道・香道に因む道具類に形を変えて関係者の手元に残るほかは、後世に伝承される術はなかった。現在、わが国の国立博物館として唯一、建造物由来古材を保管しているのは国立歴史民俗博物館(千葉県佐倉市)である。これは、初期の国直轄の文化財修理として1934年に開始された法隆寺国宝保存工事において、金堂壁画の保存に先立ち、建造物修理として、食堂、東大門、東院礼堂、大講堂、西円堂、地藏堂、東院夢殿・回廊、東院伝法堂、舍利殿・絵殿、東院・四脚門の修理が行われ、このときの取替え古材の一部が、幾人かの関係者の手を経て、国立歴史民俗博物館の収蔵庫に収容されたことによるものである。ただし、これらの古材の来歴について、文化財所有者であった法隆寺が未確認とするものを多く含んでおり、また、博物館に収蔵されているため、原

表 1. 材鑑調査室に古材提供を受けた文化財建造物リスト（平成 17 年～平成 19 年）

都道府県	文化財建造物
京都府	大徳寺 玉林院 黄檗山 万福寺 西本願寺 同志社クラーク館 知恩院 集会堂・経蔵 宝塔寺 八坂神社 清水寺 奥の院 武尾神社 鹿苑寺（金閣寺） 高台寺 傘亭・時雨亭
奈良県	唐招提寺 金堂
和歌山県	旧中筋家住宅
大阪府	民家集落博物館・旧椎葉家住宅
滋賀県	矢川神社
兵庫県	一乗寺
三重県	専修寺
広島県	国前寺
茨城県	坂の家住宅
栃木県	日光社寺文化財保存会・輪王寺
愛知県	犬山・寂光院
大分県	博物館明治村・芝川又右衛門邸 泉福寺

則非破壊調査（主に目視観察）であるという制約により、調査研究試料としての活用の道は現状では見出されていない。

3. 文化財建造物由来古材と古材研究

現在も多くのジャンルで引用されている“ヒノキは 200 年後に最も強くなり、その後緩やかに強度が低下する”とした小原二郎博士の古材の研究³⁾から半世紀が経とうとしている。その結論を導くための古材試料検体数や古材履歴の詳細など数々の問題が指摘されてきたにもかかわらず、これまで、その問題を解決するための、文化財建造物由来古材を入手する道は、先に述べた文化財保護法制定後、閉ざされていた。

しかし、一方では、文化庁主導により建造物保存修理事業が行われることにより、修理によって得られる情報量は進歩しつつあった。古材を例にとっても、材表面に残された加工痕や釘穴による制作年代や使用年代の判定、社寺に残された文書からの建立や修理、資材提供に関する情報、また、年輪年代法や放射性炭素年代法による木材の伐採年代や生育期間などの情報の蓄積が得られつつあった。

そこで、“修理現場見学のお願ひ”（平成 15 年 12 月）を提出し、京都府で行われている修理

事業の中で、大徳寺玉林院保存修理事務所（所長：森田卓郎氏）ならびに万福寺松隠堂保存修理事務所（所長：富沢祥光氏）への度々の訪問についての許可を受け、その後、京都府教育庁指導部文化財保護課建造物課に“古材試料提供のお願ひ”（文書名：木質科学研究所 教授 川井秀一）を提出し、野小舞や桔木などの野物材の提供の許可を受けうることになった。提供を受ける際には、研究所と文化財所有者（たとえば、住職など）および、修理を統括する文化財保護課との間で公式文書“古材提供依頼書”と“寄付許可書”の交換を行ってきた。

その後、奈良文化財研究所建造物室室長・窪寺茂氏などの協力を得、日本各地で行われている建造物保存修理事業への個別的な働きかけに加え、組織的な取り組みとして、文化庁が主催する文化財建造物保存主任技師連絡協議会での“古材提供の依頼”（平成 16 年 10 月）の配布（文書名：生存圏研究所 所長 松本紘、教授 川井秀一、教授 伊東隆夫）に始まり、文化財建造物保存主任技師研修会において、“木材の材料寿命—歴史的建造物由来の試料を用いた検討—”（平成 17 年 10 月）⁴⁾および“歴史的建造物由来古材の材質評価に関する研究”（平成 19 年 10 月）⁵⁾として研究報告を行うことにより、日本各地での文化財指定建造物保存修理事業の修理工事関係者に対し、取替え古材を研究用試料とすることの意義と、木材の科学的調査の重要性について述べた。また、全国国宝・重要文化財所有者連盟連絡協議会においても“古材提供の依頼”（平成 19 年 11 月）の配布（文書名：生存圏研究所 所長 川井秀一、教授 杉山淳司）を行った。

これらの呼びかけに対し、各地の修理現場からの個別的な連絡を受け、その都度、修理現場に赴くことにより研究の趣旨を伝え、古材の収集を行ってきた。表 1 に、平成 17 年度より今日までに古材提供を受けることのできた文化財建造物名を示している。

表 2. 西本願寺御影堂の用材の樹種識別結果

部材名	使用年代		現場での判断	樹種識別結果	
土居葺板	文化	1811	スギ	スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>
裏甲	寛永	1636	ヒノキかヒバ	コウヤマキ	<i>Sciadopitys verticillata</i>
箱棟屋根板1	文化	1811	ヒバ	二葉マツ	<i>Pinus</i>
箱棟屋根板2	文化	1811	ヒバ	コウヤマキ	<i>Sciadopitys verticillata</i>
床板	文化	1811	マツ	二葉マツ	<i>Pinus</i>
裏甲桔木	文化	1811	ケヤキ	ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i>
野地板	文化	1811	スギ	スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>
母屋桁	寛永	1636	マツ	二葉マツ	<i>Pinus</i>

これらの建造物から提供を受けた部材については、柱や貫、垂木などの大部材のものから、柿などの小片まで含んでおり、また、使用箇所によって劣化損傷の程度も様々であるため、すべてを一律に科学的調査の対象とすることは難しいと思われるが、現在は、組織観察による樹種識別の結果、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) と判断されたものについて、条件が許す限りにおいて、年輪年代 (奈良文化財研究所、光谷拓実氏) および放射性炭素年代 (国立歴史民俗博物館、今村峰雄氏、坂本稔氏、尾壽大真氏) により年代測定を行い、木材の使用履歴を明らかにした上で、古材の材質評価などの検討を行っている。たとえば6-9)

4. 使用用材の樹種について

建造物に使用されている樹種は、現在も、現場での技術者らの経験により肉眼による判断に委ねられることが多く、修理工事報告書には樹種の記載があるものもあるが、その科学的根拠が記されている例はほとんど無い。しかし、今日になってようやく、修理取替えの際の必要に応じて、光学顕微鏡による組織観察に基づく樹種識別の依頼を受ける場合も出てきた。建造物一件すべての部材について網羅的に樹種識別を行うことのできる例はほとんどないため¹⁰⁾、樹種識別の依頼を受けた場合は、その建物、部材の情報も含め、個々の正確なデータを地道に集積し、データベース化しておくことが、今後、用材の樹種の変遷や地域特性を全国的に網羅的に把握する上で大変重要である。

ここには、樹種識別の一例として、大工の経験による判断 (肉眼観察) と組織観察による結果の対比を知る例として、西本願寺御影堂と清水寺奥の院の結果について報告する。

4.1 西本願寺 御影堂 (京都府)

現在の御影堂は、寛永13年(1636年)に建立され、その後、寛政12年(1800年)から文化7年(1810年)に大修復が行われた。現在、平成の大修復事業として平成11年(1999年)から10年間の工期で修復工事が行われており、修理工程にあわせて、当初材および修理期の取替え材の古材の提供を受ける傍ら、構造材、内装材等のそれぞれの樹種識別の依頼を受けている。

表2に、部材名と、現場での判断および組織観察による識別結果を記している。

4.2 清水寺 奥の院 (京都府)

清水の舞台として有名な京都の清水寺は、宝亀9年(778年)に開創され、寛永10年(1633年)現在の規模に再建されており、国宝の本堂、国の重要文化財の十五の建造物は、1994年、UNESCOの世界遺産にも登録されている。それらの建造物のひとつである奥の院は、本堂と同期の寛永10年に再建され、本堂同様の舞台造りである。その奥の院の舞台柱は、その材外観から、関係者の間では、早晚材の移行が急であるため、スギではないかとされていたが、これも、光学顕微鏡による組織観察の結果、分野壁孔の形状からヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) であると判断された。写真1に部材の外観 (材鑑調査室) と樹種識別の根拠となった顕微鏡写真を示す。

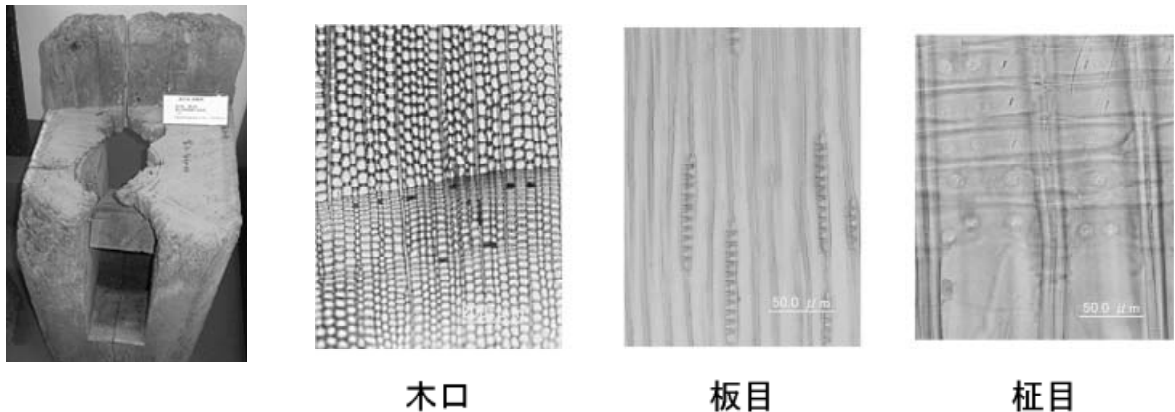


写真1 左・清水寺奥の院舞台柱（材鑑調査室）と右・その光学顕微鏡写真

一例ではあるが、これらの結果は、飛鳥期から建造物に多用されてきた樹種であるスギやヒノキですら、見誤られる場合がありうることを示している。このことは、経年による材の外観の変化などにより、熟練した技術者でも樹種の判別が難しくなる場合があることを示唆している。

今後も継続して用材の樹種識別を行い、関係者にその成果を還元する必要があるであろう。また、諸事情により、修理工事報告書に樹種識別結果が記載されない場合もあるため、これらについても報告の場を得たいと考えている。その一方で、修理現場でのニーズに応えるためにも、光学顕微鏡による組織観察による樹種識別という手法の簡便化を含め、新たな手法確立を目指している。

5. おわりに

上述のような背景の下、研究課題“歴史的建造物由来古材の材質評価データベースと海外研究協力ネットワークの構築”（平成20年度・基盤研究A：代表者川井秀一）が採択され、今後、歴史的建造物由来古材のデータベースは、国内での組織的な連携を基盤とし、その時間軸と地域性を、世界的な視野に立って記述することが重要となってきた。

文化財指定建造物由来古材の収集は、木材という材料の特性を把握することを目的として、木材の材料寿命・寿命予測、ひいては、経年による木材細胞壁の変化のキャラクタリゼーションを目指して着手した静かな取り組みではあったが、“木の文化”¹¹⁾あるいは“木の文化と科学”¹²⁾を謳うわが国において、世界に類無き古材コレクションとして誇るべきものとなりつつあると考えている。

そして、歴史的建造物由来古材のデータベースを構築し、今後、生存圏研究所におけるひとつのデータベースとして有意義に利活用されるための道を拓くことによって、これまで閉ざされてきた文化財の一部を研究用試料とすることについて、私たちに信を置き許諾してくださった関係者の方々に報いることができればと考えている。

参考文献

- 1) 文化財保護部建造物課、「国宝・重要文化財建造物目録」、文化庁、p676、平成11年3月
- 2) 伊原恵司、「木材—中世から近代建築へ」、普請研究、第26号、p2-54、1988

- 3) 小原二郎、「古材に関する研究」、千葉大学工学部研究報告、第9巻、第15号、p2-97、1958
- 4) 横山操 他4名、「木材の材料寿命」、平成17年文化財建造物保存主任技術者研修会テキスト、第19号、p8-15、2005
- 5) 横山操 他7名、「歴史的建造物由来古材の材質評価に関する研究」、平成19年文化財建造物保存主任技術者研修会テキスト、第21号、p17-25、2007
- 6) 尾崎大真 他7名、「年輪年代法と炭素14ウィグルマッチング法による年代決定の相互比較」、日本文化財科学会第24回大会要旨集、p205-206、2007
- 7) 横山操 他7名、「歴史的建造物由来古材の材質評価」、第29回文化財保存修復学会大会要旨集、p207-208、2007
- 8) 横山操 他7名、「Evaluation of aging wood from Japanese historical buildings」、東アジア文化遺産保存国際シンポジウム講演要旨集、p205-206、2007
- 9) 横山操 他7名、「歴史的建造物由来古材の材質評価IV-熱処理材との力学特性の比較」、第58回日本木材学会大会要旨集、2008
- 10) 水野寿弥子他3名“知恩院集会堂（重要文化財）使用用材の樹種識別”第57回日本木材学会大会要旨集、2007
- 11) 小原二郎、「木の文化」、鹿島出版会、250pp、1972
- 12) 伊東隆夫編、「木の文化と科学」、海青社、220pp、2008

MUレーダー共同利用

1. 概要

信楽 MU 観測所は滋賀県甲賀市信楽町に位置する観測施設であり 1982 年に設置された。1984 年に完成した大気観測用大型レーダーである MU レーダーを中心として、全国共同利用（現在は、全国国際共同利用）を実施してきた。MU レーダーの他にも下記に示すように多様な観測設備が充実しており、地表面に近い下層大気から宇宙空間に接する超高層大気までを総合観測・研究する拠点として、国内外に知られている。2004 年の MU レーダー観測強化システムでレーダーの性能は大きく向上した。同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。

1.1 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 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)

1.2 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) 磁力計(京大理)他
(以上の機器の利用に当たっては、それぞれの研究者への問い合わせが必要)

1.3 MU レーダー観測全国国際共同利用(年 2 回公募、締切は 2 月、8 月上旬)

MU レーダー観測研究課題を公募し、採択された課題に観測時間を割り当てて実施している。観測課題には、一般観測の他に大きなグループを形成して行うキャンペーン課題も設けている。また標準観測を下層・中層大気については毎月、電離圏については年 9 回実施している。なお、これらの観測の 20 年度からの変更については下記特記事項を参照されたい。観測データの公開は、標準観測については即時、その他のものは 1 年後であり、生存圏データベースとして公開している。

2. 本年度の実績

共同利用課題数と延べ利用者数、観測時間を表 1 に示す。

表 1：共同利用課題数と延べ利用者数

期間	MU レーダー観測共同利用件数	MU レーダー観測時間
前期(4-9 月)	24 件、 107 名	1520 時間
後期(10-3 月)	25 件、 108 名	1424 時間

3. 特記事項

●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。平成 20 年度前期分の公募より実施することとなった。

●デジタル受信機化した MU レーダーの特徴を活かして観測中のレーダー動作のモニター機能を充実するソフトウェアの開発を進めている。約 500 台の送受信機を有する複雑なシステムの遠隔監視や制御を目指した開発であり、古本淳一特任助教がこの開発にあたっている。

●平成 18 年度に行なっていた信楽 MU 観測所屋上の防水および建物の防水の営繕工事が完成し、観測棟および宿泊棟がリニューアルした。1983 年にこれらが完成してから初めての大規模営繕工事で建物の外観も改善されまた防水性能も強化されて、今後行なわれる各種共同利用観測実験に備えている。

4. 共同利用研究紹介

4.1 FERIX2 キャンペーン観測

電離圏 E 層および F 層のプラズマ間の電磁氣的相互作用を解明するために、FERIX2(F- and E- Region Ionosphere Coupling Study)キャンペーン観測が MU レーダーのキャンペーン観測として 2007 年 5-9 月の間に行なわれた。この観測では、MU レーダーで磁力線直交方向（信楽からみて北側）の東西 16 ビームで、高度 300 km 付近の F 層 FAI（沿磁力線不規則構造）エコーを受信し、31.57MHz の VHF レーダー LTPR（下部対流圏プロファイラ）を山形県酒田市に設置、新たにバイスタティック受信サイトを新潟市間瀬に新設して、対応する E 層の FAI を 2 方向から狙った。今回は MU レーダーと LTPR の両レーダーでのレーダーイメージングで EF 両層の FAI の詳細な構造の観測が行なわれた。これらとともに、大気光イメージャ、および GPS 受信機ネットワークも協同観測を行なった。以上を通して E 層 F 層のカップリングの性質の解明や生成源の解明を行なうべく解析が進められている。また、9 月には内之浦から打ち上げられた熱圏風観測ロケットとの協同観測も行った。本課題は、RISH 山本衛教授を代表として京大、NiCT、名大 STE 研など多くの機関の協同で行われている MU レーダーを中心とした観測プロジェクトである。

4.2 MU レーダーと大型ライダーによる雲構造の詳細観測

MU レーダーによる対流圏内の鉛直風の高精度観測および散乱層強度や風速の高度時間変化をこれまでにない高時間空間分解能（高度分解能最大 20m、時間分解能最大 10-20 秒）の周波数領域干渉イメージング (FII) 観測など、MU レーダーの高機能を活かした観測と、信楽 MU 観測所内に設置されている大型レイラー・ラマンライダー(532nm、出力 30W、受信口径 82cm)の高分解能(高度分解能最大 9m、時間分解能最大 10-20 秒)観測を活用したレーダー・ライダー同時観測による乱流散乱層や雲構造の詳細観測が行なわれている。これらは、フランスの Hubert Luce 博士や RISH 山本真之助教授らが中心となっている観測課題で、対流圏内の大気不安定領域や雲底部の構造、正確な背景鉛直流と雲の偏光特性（相転移）を考慮した雲物理過程の解明など最新の観測技術を活かした成果が得られている。

5. その他

“ひらめき☆ときめきサイエンス”を活用した信楽 MU 観測所での中高生向けアウトリーチ

「レーザービームで気象観測をやってみよう」の実施

最先端の大型研究設備を中高生に紹介してその研究内容を披露することは、科学への興味をひきつける上で有効ではないかと考える。我々は、平成 19 年 11 月 11 日に、日本学術振興会が科研費の研究成果の社会還元・普及事業のプログラムとして推進している「ひらめき☆ときめきサイエンス」の制度を利用して「レーザービームで気象観測をやってみよう」というタイトルで信楽 MU 観測所の大型観測装置を紹介し、レイラー・ラマンライダー(レーザーレーダー)や MU レーダーによる地球大気の観測について学習してもらう企画を行なった。当初予定の 2 倍以上である中高生 41 名(保護者・引率等含み総計 53 名)が参加した。MU レーダーおよびライダー装置の見学、ラジオゾンデ（気球）観測実演、ライダー観測と関連する科研費の成果の講演、大気レーダー観測の講演、それに日没後のライダー観測実演を行った。幸い天候に恵まれてスケジュールを無事実施することができた。当日の参加者の様子、アンケート結果、メール等で頂いた謝辞などから、中高生の科学への興味を大いに刺激することが出来たのではないかと考えている。

電波科学計算機実験共同利用

1. 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（AKDK）をそれぞれ導入した。当研究所ではこれらの専用装置を用いて全国共同利用を行っている。現有の先端電波科学計算機実験装置（AKDK）は、スーパーコンピュータ（128 CPU）上に大きな共有メモリー（512 GB）とディスク領域を装備しており、情報メディアセンター等の共同利用計算機では実行が難しい長時間演算を実行することが可能である。

1.1 共同利用に供する設備

先端電波科学計算機実験装置：

富士通 PRIMEPOWER HPC 2500	128CPU	512 GB MEM
富士通 PRIMEPOWER HPC 1500	32CPU	256 GB MEM
富士通 PRIMEPOWER HPC 900	16CPU	69 GB MEM
		+10.4 GB Hard Disk
RAID ディスクサーバー	50 TB	



先端電波科学計算機実験装置（AKDK）

1.2 共同利用の形態・公募方法

電波科学、超高層プラズマ及び中層大気に関する計算機実験、その他、生存圏科学に関連する数値解析、計算機実験の研究課題を公募する。応募資格は、教授、准教授、講師、助教、研究員（非常勤研究員を含む）、博士後期課程在学者※（又は一貫性の博士課程3年次生以上）、他省庁等で研究に携わる者、及び所長が適当と認める者とする。申請のあった共同研究課題は、本研究所に設置された電波科学計算機実験専門委員会の審査を経て所長が採否の決定を行う。また、全国共同利用大型計算機センターのCPU利用負担金を補助する「電算機共同利用」も行っている。

公募に関しては、年に1回全国の関連研究機関・大学へ共同利用公募案内を送付。電子メールによる周知。申請は、WEBを通じておこなう。

2. 本年度の実績

共同利用課題数と延べ利用者数：

- 平成19年度課題数： 35件（内電算機共同利用3名）
- 共同利用者数： 89名

3. 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。（19年度は3月3、4日に開催）
- 毎年「KDK 研究成果報告書」を作成し、関連研究者に配布。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

19年度 KDK シンポジウムで成果発表された代表的な研究課題について紹介する。

4.1 「大電流、強磁場条件における高速弱電離プラズマの振舞に関する基礎的研究」代表：石川 本雄（筑波大学システム情報工学研究科）

大電流(1-10 A/cm²)、強磁場(1-10 T)の条件において高温、高圧、高速の弱電離プラズマの振る舞いを2、3次元解析により解明することを目的としている。とりわけ、電磁流体技術(MagnetoHydroDynamic Engineering)の航空宇宙分野への応用の一つとして、惑星突入機の空力加熱・空力抵抗を制御することを目的としたMHD Flow Controlに関して、地球再突入流れから大電力を抽出することを目的として提案した機上表面ホール型MHD発電機(図1参照)を数値解析により検討することである。図2にアノード電極配置を変化させた場合の発電出力と負荷電圧の関係を示す。まず、アノード電極の幅は異なるがアノード・カソード電極間距離はほぼ同じであるCase-1とCase-2の発電出力と負荷電圧の関係を比較すると、負荷電圧に対する発電出力の依存性はほぼ同じであり、最大で約2.7 MWe程度の発電出力が得られている。次に、アノード電極幅にほとんど差はないがアノード・カソード電極間距離が異なるCase-2~Case-4の発電出力と負荷電圧の関係を比較すると(Case-2, Case-3, Case-4の順でアノード・カソード電極間距離は短くなる)、いずれの場合でも1MWeを超す発電出力が得られているが、アノード・カソード電極間距離が長くなるにつれ最大発電出力は増加し、また最大発電出力が得られる負荷電圧は高電圧側に移動する。アノード・カソード電極間距離が長くなることで発電領域(体積)が広がることによることがわかる。ただ、いずれのアノード電極配置条件においても高負荷条件では安定した解が得られていない。今後の検討課題である。

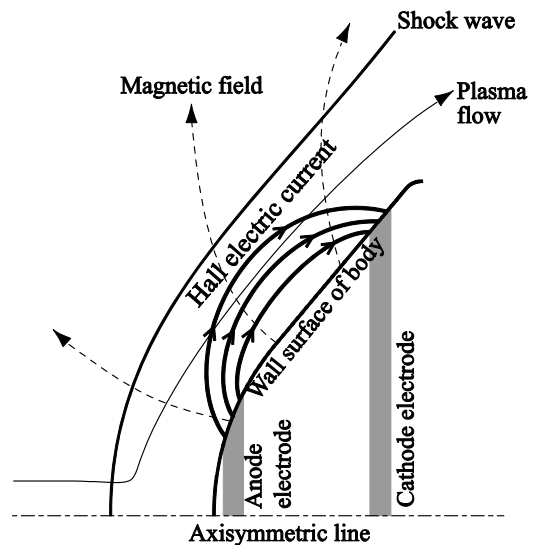


図1: 機上表面ホール型MHD発電機の概念図

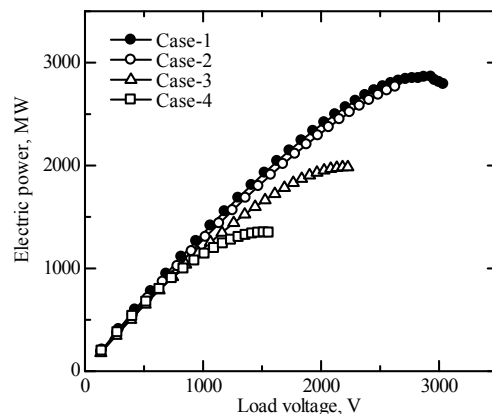


図2: 発電出力と負荷電圧の関係

公表状況:

Ishikawa, M., M. Yuhara and T. Fujino, Three-Dimensional Computation in a Weakly Ionized Plasma with Strong MHD Interaction, Journal of Materials Processing Technology, Vol.181, pp.254-259, 2007

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、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年度予定)と年々増加しており、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) 深尾昌一郎(京大名誉教授)
佐藤亨(京大情報) 長澤親生(首都大) 小川忠彦(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20年3月3日に国際委員の出席を得て専門委員会を開催し、平成20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19年度	32件	1件	33件	33件	310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。12月20日・21日に、第1回赤道大気レーダーシンポジウムを開催した。共同利用により得られた研究成果について28件の講演発表が行われ、活発に議論された。

4. 特記事項

○科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合」に関する報告

科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合」は、平成13年度から18年度までの6年間にわたって、赤道大気レーダーを中心として多数の観測装置の集積をすすめ、地表近くから電離圏にいたる広範囲の大気の力学的上下結合に関する観測的研究を続けてきた。平成19年度には研究取りまとめを進めると同時に、事後評価を受け、公開シンポジウムを開催した。

事後評価

平成 19 年 10 月 22 日に事後評価（終了後ヒアリング）受け、評価結果：A+（期待以上の研究の進展があった）を得た。これは最高ランクの評価である。事後評価に係る意見は以下の通り。

「本研究領域は、地球規模の気象・気候変動に重要な赤道域大気圏の現象を総合的に理解することを目指して、インドネシアに赤道大気レーダーなど様々な大気観測装置を集結した大気圏全層に渡る赤道大気観測拠点を構築した。インドネシア、及び諸外国との国際協力・共同での観測研究を良好に運営・進展させ、赤道大気現象に関し、詳細な観測的な実証や新知見を数多く提示した。この成果は、地球環境関連分野に大きな貢献をなすものと評価する。研究領域の発展・人材育成やインドネシアの科学発展など国際協力の点からもその貢献は大きい。成果の公表、普及へも積極的に取り組んできている。以上のことから、特定領域研究として大きな成果を上げたと判断する。

今後、観測成果に基づいた赤道大気現象の理論的解明が進展すること、インドネシアの観測拠点を維持・発展させることを期待する。」

公開シンポジウム

平成 19 年度に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、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—」を開催した。約 250 名の参加者を得て成功させることができた。平成 20 年度にはシンポジウムの内容を書籍として刊行することを予定している。



公開シンポジウムのポスター(左図)とシンポジウム会場の様子(上図)

METLAB 共同利用

1. 概要

マイクロ波エネルギー伝送実験装置(METLAB)は、マイクロ波エネルギー伝送実験を効率的に行うための電波暗室及び実験装置であり、京都大学宇治キャンパスに平成8年に設置された。平成16年度よりマイクロ波エネルギー伝送、宇宙太陽発電所SPS、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。

1.1 共同利用に供する設備

マイクロ波エネルギー伝送実験装置(METLAB)

電波暗室(1W/cm²以上の高耐電力電波吸収体が設置され大電力マイクロ波エネルギー送電実験を行うことが可能)、種々のオシロスコープ、ネットワークアナライザ、スペクトラムアナライザ、電力計、アンプ、電源など。URLは<http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/plasma-group/metlab.html>。

1.2 実施中の共同利用

- METLAB 全国共同利用
 - 年1回公募しており、今年度の締切は1月末であった。緊急を要するものは随時受け付ける。
 - METLAB 研究課題を公募し、採択された課題に日時を割り当てて実施している。当初割り当てられた日時に使用する場合は、優先的に利用できることとしている。
 - 研究成果または経過については、所定の利用報告書の提出の他、本研究所主催の研究会(METLAB研究会)等での報告を依頼している。URLは<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/metlab>。

2. 本年度の実績

期間	応募	随時	承認	利用	延べ日数
平成19年度	10件	6件	16件	14件	227日

平成19年度 METLAB 共同利用課題一覧

代表者	所属	研究課題	研究分野
篠原 真毅	京大生生存圏研究所	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	A. マイクロ波送電
井上 允	国立天文台スペース VLBI 推進室	VSOP-2 衛星用多モードホーンの特性測定	C. 電波科学一般
竹野 裕正	神戸大学工学部	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
森 雅裕	宇宙航空研究開発機構総合技術研究本部高度ミッション研究センター	マイクロ波地上エネルギー伝送実験システムの研究開発	B. 宇宙太陽発電
橋本 弘藏	京大生生存圏研究所	マイクロ波を利用した到来方向推定に関する研究	B. 宇宙太陽発電
塩見 英久	大阪大学大学院基礎工学研究科	マイクロ波送電アクティブアレイアンテナの研究	A. マイクロ波送電
田中 孝治	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部	電気機能モデル試作による宇宙太陽発電衛星のシステム評価	B. 宇宙太陽発電
宮坂 寿郎	京都大学大学院 農学研究科 地域環境科学専攻	マイクロ波送電技術を応用した農業機械の電動化	A. マイクロ波送電

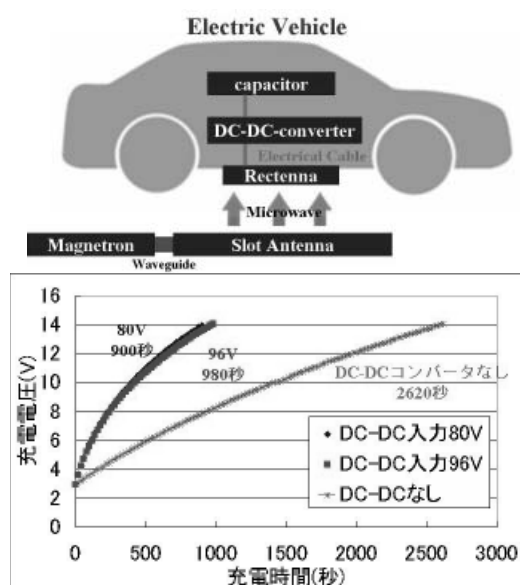
中嶋 洋	京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻	マイクロ波照射によるコケ緑化システムの殺菌技術の検討	C. 電波科学一般
川崎 繁男	京都大学生存圏研究所	高出力フェイズドアレイ AIA の研究	A. マイクロ波送電
佐藤 稔	岡山大学大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻	建築構造物を用いたマイクロ波電力供給システムのための可変電力分配器の開発	A. マイクロ波送電
須崎 純一	地球環境学堂 資源循環学廊	マイクロ波散乱計を用いた土壌水分および帯水層の計測とモデリング	C. 電波科学一般
渡邊 隆司	京都大学 生存圏研究所	木質バイオマス前処理用マイクロ波照射システムの高効率化に関する研究開発	C. 電波科学一般
辻 正哲	東京理科大学理工学部	マイクロ波の反射波強度を利用したフレッシュコンクリートの単位水量およびコンクリート中の鉄筋位置の推定方法に関する研究	C. 電波科学一般
山川 宏	京都大学 生存圏研究所	マイクロ波による「電力・情報同時無線伝送技術」に関する研究	A. マイクロ波送電
布施 嘉春	三菱重工業株式会社 名古屋航空宇宙システム製作所	マイクロ波ビーム制御システム要素試作試験	B. 宇宙太陽発電

(注) 最後の件は、企業の申請であるが、財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 (USEF) からの業務請負により MHI がマイクロ波ビーム制御技術の実証と基本データ取得を行うものである。所長と相談の上、「3. 応募資格 7) その他研究所長が特に認めた者」を適用した。事務的にも問題ない。

3. 特記事項

- 平成 15 年 3 月から毎年、「宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会 (METLAB 研究会)」を電子情報通信学会 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 11 日と 17 日の午後で開催した。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/spis>。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介



「マイクロ波を用いた電気自動車無線充電システムの高効率化」を紹介する。燃料電池電気自動車には、電池が重い、航続距離が短い、充電時には高電圧ケーブル接触による感電の危険性がある等の問題点も多い。本システムは無線充電なので、感電の危険性も皆無であり、移動中充電にも応用可能である。

送電システムは、マグネトロンを 2.45GHz のマイクロ波源とし、導波管スロットアンテナから鉛直上向きに放射したマイクロ波エネルギーを車の底に敷き詰めたレクテナ (アンテナと整流回路を一体化した素子) で受電し、充電用の電気二重層キャパシタに蓄えるというのが本システムの概要である (上図)。

レクテナは、大電力化のために、ウィルキンソン分配回路の分配数を増加させ、耐電力を向上、また、10W 以上の大電力入力時にも RF-DC 変換効率が 50% を超えていることも確認した。DC-DC コンバータの導入により、レクテナ出力インピーダンスが常に最適値に保たれ、DC-DC

コンバータ未使用時に比べて充電効率が約 3 倍と飛躍的に改善された (下図)。

兒島淳一郎、篠原真毅、三谷友彦、橋本隆志、岸則政、外村博史、岡崎昭仁、マイクロ波を用いた電気自動車無線充電システムの高効率化、電子情報通信学会技術研究報告 SPS2007-16、2008 年 3 月。

居住圏劣化生物飼育棟共同利用

1. 概要

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

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

1.2 その他の設備

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

1.3 共同利用の形態

- 平成 19 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 年度以降に国際共同利用施設として研究課題の公募を開始する。
- DOL を利用する研究が生存圏科学の発展に大いに貢献し、共同利用性の高い施設へと発展させるために、下記研究内容の共同利用を重点的に募集した。
 - 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
 - ミッション② 太陽エネルギー変換・利用：劣化生物によるバイオマスの有効利用
 - ミッション③ 宇宙環境・利用：特記すべき事項なし
 - ミッション④：循環型資源・材料開発：開発された諸材料の生物劣化抵抗性；低環境負荷型防腐・防蟻法の開発

1.4 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。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。
- 申請締め切り後、専門委員会を開催し採択課題の決定を行う（現実的には、時間的制約から、電子メールで申請内容を配信して各専門委員には予備審査を行ってもらう）。10 課題前後、共同研究者として 50 名程度の採択を予定し、旅費・滞在費（場合によっては消耗品費）を支給する。[平成 19 年度共同利用採択研究課題一覧を下表に示す。
- 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 19 年度の実績

平成 19 年度は 7 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 20 年 2 月 25 日に開催された第 91 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。

	研究課題	研究代表者所属・氏名	関連ミッション	成果概要
1	蟻害を受けた木質部材の残存耐力に関する研究(新規)	京都大学生存圏研究所・森 拓郎	④	蟻害を受けた3種の木質部材について曲げ破壊及び圧縮試験から残存耐力を測定した。部材の密度と強度には正の相関が認められるものの、普遍的關係と結論するには、更なるデータの蓄積が必要である。
2	天然成分等を活かした新しい木材保存剤の開発(継続)	島県立農林水産総合支援センター森林林業研究所・津司知子	④、①	藍染液による表面処理木材の防蟻性能及び注入処理木材の防腐性能を標準室内試験で評価した。藍染液単独の処理ではいずれの性能も基準には達せず、他保存剤による性能補強が必要である。
3	木材の生物劣化の非破壊診断技術の開発(継続)	京都大学大学院農学研究科・奥村正悟	④	シロアリ活性を査定するに当たり、発生する水素測定が有効であることから、水素濃度と湿度との関係を検討した。相対湿度 75、85%でイエシロアリの摂食が活発であった。
4	生物劣化による木材の強度補強方法の研究(継続)	工学院大学建築学科・宮澤健二	④	蟻害を受けた木材の強度モデルを横圧縮と縦圧縮について提案し、実験地と理論値を比較・検討した。
5	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	廃食用油から製造した銅石鹼を注入処理した木材を強制摂食させられたイエシロアリ職蟻の共生生物数が減少し、新たに無処理木材を与えても摂食活性は著しく低下した。
6	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)	京都大学大学院農学研究科・東 順一	④	ホウ酸含有木粉を強制摂食させ、ホウ酸のイエシロアリによる糖代謝に関わる酵素活性に及ぼす影響を調べた。β-グルコシダーゼ、セロビオハイドロラーゼなどの活性が低下しており、中朝の形態的变化も観察された。
7	木材腐朽菌の遺伝資源データベースの構築(継続)	高知工科大学工学部物質・環境システム工学科・堀澤 栄	②、①	DOL 保有菌株の中で主命が未確認の19 菌株について、菌株保存機関の標準菌株と DNA 配列を比較し、1 菌株を同定できた。研究を継続してさらに充実したデータベースを提供する。

3. 特記事項

DOL で行われた研究成果を広く社会に公開するために、研究成果報告会を平成 17 年度以降年 1 回の割りで開催、あわせて成果報告集を出版している。[平成 19 年度は平成 20 年 2 月 25 日に LSF と合同の研究成果発表会を開催した]

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

平成 19 年度の採択件数は 7 件、その内 6 件は継続。新規採択は 1 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。

室内で飼育中のイエシロアリを用いて、蟻害を受けた木質部材の強度に関する研究課題が 2 件採択されており、それらの学術的意義について紹介する。シロアリの食害様式は、木理に沿って早材部を好むなどの特色が知られている。しかしながら、その傾向は一定せず、当然、蟻害木材の残存強度も一般化することは難しい。「蟻害を受けた木質部材の残存耐力に関する研究」は、非破壊測定(含水率、超音波伝播速度、見かけの比重)と共に曲げ・圧縮試験から残存耐力を測定、「生物劣化による木材の強度補強方法の研究」はシロアリの食害様式に幾つかの仮定を設けて、実測値と理論値からモデル化を提案している。蟻害によって建造物の強度が損なわれる危険性を査定し、健全な維持・管理が重要であるが、蟻害調査と残存強度との関係から、部材の交換時機を決定できる十分な情報は蓄積されていない。蟻害の非破壊的調査法の開発と相まって信頼できる残存強度査定法の確立が望まれる。

生活・森林圏シミュレーションフィールド共同利用

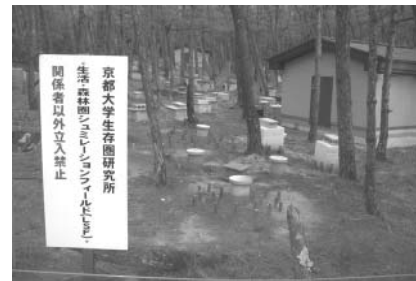
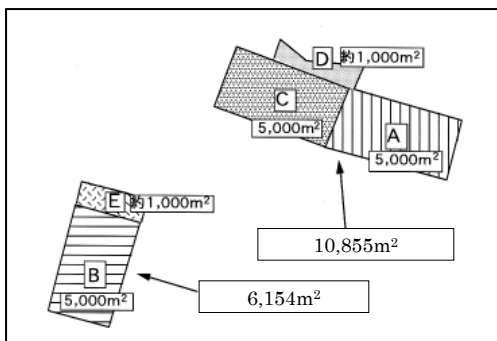
1. 概要

京都大学生存圏研究所生活・森林圏シミュレーションフィールド（以下 LSF と略）は、鹿児島県日置市吹上町吹上浜国有林内に設置されたクロマツとニセアカシア、ヤマモモなどの混生林からなる約 17,000 平方メートルの野外試験地であり、これまでの既に 30 年以上近くにわたって木材・木質材料の性能評価試験や生態調査に関して国内外の大学、公的研究機関及び民間企業との共同研究が活発に実施されてきている。平成 17 年 6 月より全国共同利用施設としての使用を開始した。

1.1 共同利用に供する設備

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

2 試験区、合計約 17,000 平方メートル



2 試験区の配置（左）とその様子（上）

1.2 共同利用の形態

- LSF は生存圏科学に関する総合的な野外実験施設であり、以下の例の様な研究分野における共同利用を積極的に募集している。

ミッション①：環境計測・地球再生：

生活・森林圏における物質循環；地球大気情報、特に東シナ海沿岸域における大気情報の精測

ミッション②：太陽エネルギー変換・利用：

マイクロ波送電における野外シミュレーション；木質バイオマス循環に関するシミュレーション

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

ミッション④：循環型資源・材料開発：

分子育種による高炭素固定樹木の性能評価；新規機能性木質材料の耐久性・環境内挙動

1.3 共同利用の公募

- 共同利用の公募は年 1 回とする。申請受付のため web ページを開設し、申請用紙のダウンロードを可能にするとともに、電子メールベースで申請を受け付ける。
- 専門委員会において採択課題の審査および決定を行う。
- 平成 20 年度からの国際共同利用の開始に向けて専門委員会において議論した結果、日本人研究者を代表とする共同研究に海外の研究者に研究協力者として参加してもらい、その後段階的にオープンにすることに決定した。これを受けて、平成 20 年度の公募には「国際」というカテゴリーを設けることになった。

2. 本年度の実績

平成 19 年度は下記の 17 件を採択した（括弧内は研究代表者）。14 件が継続課題、3 件が新規課題で

ある。参加研究者の合計は 78 名、その内訳は大学 27 名、公設研究機関 25 名および民間 26 名である。3 つのカテゴリーの研究者がバランス良く参加しているのが LSF 全国共同利用研究の最も大きな特徴であり、関連する研究者コミュニティから幅広い支持を得ていると言える。

- ・ 床下設置用防蟻板の野外性能試験（京都大学生存圏研究所：吉村 剛）（継続）
- ・ オビスギ品種材のシロアリ抵抗性（宮崎大学農学部：雉子谷佳男）（継続）
- ・ 環境に配慮した木材保存技術の開発（奈良県森林総合技術センター：伊藤貴文）（継続）
- ・ 蟻害を受けた木質部材の残存耐力に関する実験的研究（京都大学生存圏研究所：森 拓郎）（新規）
- ・ 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（鹿児島県林業試験場・森田慎一）（新規）
- ・ 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（秋田県立大学木材高度加工研究所：栗本康司）（継続）
- ・ 高知県産スギ材の耐久性能（特に黒心材について）（高知県立森林技術センター：松岡良昭）（継続）
- ・ 表面処理したエクステリアウッドの耐久性評価（森林総合研究所：木口 実）（継続）
- ・ スギ精油を混入した防蟻断熱材の開発（宮崎県木材利用技術センター：藤本英人）（継続）
- ・ 非設地・非暴露条件下での保存処理、未処理木質材料の野外試験（鹿児島大学農学部：服部芳明）（継続）
- ・ 廃食用油を用いたリサイクル型木材保存剤の開発（野外試験による防蟻性能の実用評価）（富山県林業技術センター・木材試験場：栗崎 宏）（継続）
- ・ 合成木材の野外耐久試験（山梨県森林総合研究所：小澤雅之）（継続）
- ・ 加圧注入用薬剤および高耐久性樹種の長期耐久性試験（森林総合研究所：大村和香子）（継続）
- ・ 木材の生物劣化の非破壊診断技術の開発（京都大学大学院農学研究科：奥村正悟）（継続）
- ・ 新しい住宅断熱工法に対応した物理的防蟻材料の開発（東洋大学工学部：土屋喬雄）（継続）
- ・ ねこ部材による床下環境の改善とその防蟻性能（工学院大学建築学科：宮澤健二）（継続）
- ・ 森林生態系における土壌動物群集の機能解析（京都大学大学院農学研究科：武田博清）（新規）

3. 特記事項

平成 19 年 11 月には、生存圏研究所構成員および事務局を対象とした第 2 回見学会を開催した。また、平成 20 年 2 月 25 日に「第 91 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」を DOL との共催で開催した。さらに、平成 20 年度の敷地面積拡大に向けた測量を実施した。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

以下、平成 19 年度採択課題 17 件の研究成果について、5 つの分野にまとめて簡単に紹介する。

- 各種木材・木質系材料の耐久性評価：合成木材及び各種表面処理エクステリア材の野外比較試験が継続実施され、日本における標準データの蓄積が進展した。また、各種木材の産地の違いや品種の違いなど、これまで散発的なデータ蓄積にとどまっていた生物劣化要因についてデータについても蓄積しつつある。さらに、蟻害と残存耐力に関する野外試験が日本で初めて開始された。
- モデルハウスを用いた住宅環境のモニタリングと耐生物劣化性の評価：ねこ土台工法、基礎外断熱工法、防蟻板工法、調湿材、断熱材など、新しい住宅工法・部材の耐生物劣化性能に関する日本で唯一の大規模評価試験がモデルハウスを用いて継続実施された。
- 新しい非破壊的生物劣化診断技術の開発：安全・安心な住宅の維持管理技術の確立に向け、アコースティック・エミッション法、レーダー法及びガス探知法など最先端の研究成果を応用した新規生物劣化診断法の応用試験がモデルハウスを用いて継続実施された。
- 木材保存薬剤の野外評価：天然物や廃植物油由来化合物を含む各種木材保存薬剤の長期耐久性比較試験が、日本における標準データの確立に向けて産・官・学の研究者を結集して継続実施された。
- 試験地を用いた生態学的研究：LSF における土壌動物群集の構造が詳細に解析され、土壌動物としてシロアリが優先する熱帯林と類似した構造を有することが明確になった。

木質材料実験棟共同利用

1. 概要

木質材料実験棟を構成する主建物である木質ホール（Wood Composite Hall）は、1994年2月に完成した大断面集成材を構造材とする三階建ての木造建築物である。1階には、様々な木質材料で構成される木質構造物の接合部・架構の強度性能評価のための実大実験



木質ホール



律周舎

装置に加えて、木質由来の新素材開発の研究を行うための加工、処理、分析・解析装置等を備えている。2階は、スタッフの居室、応接室、ミーティングスペース、そして大学院生の居室となっている。3階には、国内は勿論、国際的なシンポジウムにも広く活用されている140名程度収容可能な講演会場の他、30名程度が利用できる会議室がある。またユニークな空間として、2階の階段踊り場からは、NZから寄贈されたスパン10mの木橋が外部空間に展開し、木質構築物の屋外暴露実験試験体として、本実験棟の特徴的な概観を形作っている。平成17年4月1日より、この木質材料実験棟は、全国共同利用施設として運用されているが、平成18年11月には木質材料実験棟の横の敷地に自然素材活用型木造軸組構法住宅「律周舎」が加わり、木質材料実験棟に属する共同利用施設として全国共同利用実験に供用されている。

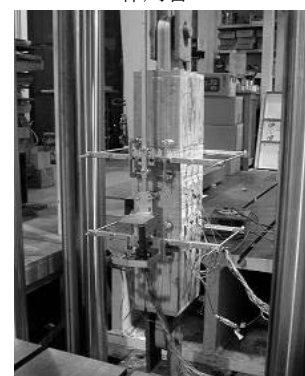


図1：木質材料実験棟(上)

1,000 kN 堅型サーボアクチュエータ(中)

X線光電子分析装置(ESCA)(下)

1.1 共同利用に供する設備

- 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）。
- 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：高さ 2.5 m、幅 0.8 m、奥行き 0.8 m 程度。動的、静的各種プログラム加力可能）。
- 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）

1.2 その他の装置

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

1.3 共同利用の形態

- 全ての施設が宇治にあるので、必然的に「全国共同利用」が中心となるが、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」に関連して、「国際共同型」の利用形態も今後活発となることが予想される。

1.4 共同利用の公募

共同利用の公募は年 1 回行っている。応募書類は原則日本語とする。共同研究の窓口となる web ページを開設する。受付は電子メールベースとする。応募締切り後、専門委員間の電子メール回議で申請課題の評価を行い、各区課題への最終的な配分予算を決定する。

2. 本年度の実績

平成 19 年度の全国共同利用申請課題の一覧を表 1 に示す。

表 1 平成 19 年度に受理された全国共同利用申請課題一覧

課題番号	研究課題	研究代表者氏名(参加研究者数)/所属/所内担当者
19WM-01	高耐力・高靱性型集成材ラーメン架構の開発	小松幸平(3名)/京大大学生存圏研究所/小松
19WM-02	京都府産木材の有効活用に関する研究	村田良浩(5名)/京都府林業試験場/森
19WM-03	地域産木材及び地域型伝統構法を活用した高耐力構造用フレームの開発	福留重人(2名)/鹿児島県工業技術センター/小松
19WM-04	科学修飾リグニンの調整とその熱処理生成物の物質評価	木島正志(2名)/筑波大学 数理物質科学研究所/畑
19WM-05	セルロース系ナノコンポジット	矢野浩之(6名)/京都大学 生存圏研究所/矢野
19WM-06	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実験のための壁静加力実験	五十田博(4名)/信州大学 工学部/小松
19WM-07	国産材住宅などにおける高耐震・高信頼性接合部の開発-柱脚接合部の補強方法の検討-	柴田直明(11名)/長野県林業総合センター/小松
19WM-08	苛酷な環境を経験したフィンガージョイントの強度性能の検討	森拓郎(4名)/京大大学生存圏研究所/森
19WM-09	伝統木造建築の荷重伝達メカニズムの解明	中止
19WM-10	LSBの配置が強度特性へ与える影響	中谷誠(5名)/秋田県立大学木材高度加工研究所/小松
19WM-11	アカシアマンガウムタンニンを用いたフェノール樹脂の熱分解ガスクロマトグラフ質量分析計による特性解析	畑俊充(1名)/京大大学生存圏研究所・講師/畑
19WM-12	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
19WM-13	貫の回転めり込みに関する実験的研究	棚橋秀光(3名)/京都大学防災研究所都市空間安全制御分野/小松
19WM-14	熱電変換材料の構造解析と物性評価	北川裕之(6名)/島根大学 総合理工学部/畑
19WM-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/東京大学 アジア生物資源環境研究センター/森
19WM-16	金属配位炭素繊維の開発	岡本忠/近畿大学 農学部/畑
19WM-17	高周波電源によるウッドカーボンスバタリング成膜のXPS分析	畑俊充(1名)/京大大学生存圏研究所/畑
19WM-18	木質耐震要素におけるエネルギー吸収機構の定量評価の試み	野口昌宏/工学院大学 総合研究所 建築学科/森
19WM-19	セルロース繊維分散系の構造と粘弾性	巽大輔/九州大学 農学研究科 森林資源科学専攻/畑
19WM-20	大断面部材のボルト接合部の疲労特性の解明	渡辺浩/福岡大学 工学部 社会デザイン工学科/小松

3. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

平成 19 年 6 月 20 日に開催された第 72 回生存圏シンポジウム「木質ラーメン構造の現状と今後の課題」は建築基準法改定後の混沌とした情勢もあって、木質構造研究コミュニティに属する研究者、業界担当者、行政担当者の注目を集め、木質ホール 3 階の大ホールと隣の会議室のパーティションを開放し、入場整理券を発行する程の賑わいであった(図 2 参照)。シンポジウムでは 8 名の演者が木質ラーメンに拘わる材料・接合・構造設計・法的扱い・その他の分野にわたって現状と問題点について講演し、200 名を超える参加者との間で熱心な議論が展開された。



図 2 シンポジウム会場

4. 特記事項

- 木質材料実験棟のホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/hall/index.html>
- 自然素材活用型木造軸組構法住宅の開発「エコ住 21」のホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/project/EcoJu.html>

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16,766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/19ZAIKAN.html>

2. 本年度の実績

平成 19 年度は共同研究 14 件、講習会 1 件を実施し、延べ 84 名の参加者を得た。そのうち 24 名が他大学の研究者、他研究所・センターより 14 名、企業より 3 名、海外の大学より 1 名、博物館学芸員 3 名、教育委員会関係の研究者 4 名、他大学の学生が 10 名、本学学生が 3 名であった。平成 20 年度は、共同研究申請 16 件、講習会 2 件の申請を受理している。また、電子データベースに関し、19 年度の統計でデータベースアクセス件数は 1,789,152 件、ダウンロード 9,170GB(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

生存圏バーチャルフィールド：材鑑調査室の所蔵する木材標本を核としながら、さまざまな電子情報をも有機的に関連させ、生存圏科学に関わる多様なデータベースを研究者のみならず一般市民へ向けて公開する目的で、材鑑調査室を改修して所蔵品やデータベースの一部を展示するための博物館的ビジュアルラボ(生存圏バーチャルフィールド)を設立した(平成 19 年 6 月に落成)。材鑑調査室には、直径 180cm の屋久杉の円盤や法隆寺五重塔心柱の一部(AD 241-594 年、弥生時代から飛鳥時代)を始め、木材に関する価値の高い所蔵品を多数保管しておりこれまでも見学者を受け入れてきたが、研究用の木材標本と展示品が混在し、展示にあたっては廊下の一部も利用せざるを得ないなど、見学しやすい状態とは言えなかった。この生存圏バーチャルフィールドの開設によって、展示場所の拡充と快適で見やすい展示スペースの充実を図り、木材標本や永久プレパラートなど、価値は高いものの一般への展示・公開にはあまりなじまなかったような所蔵品も、電子画像を含むデータベース化をすることにより、大画面モニターを通して見学できるシステムを構築した。開設後の見学者は 600 人を越え、研究所の情報発信の窓口としても機能している。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

平成 19 年度共同研究の成果の一部を記す。

ア. 日本産木材標本採集実習

日本産木材標本の採集技術・方法の伝授と、採集方法・採集標本整理・採集データ入力の標準化のため、木材標本採集実習を行い、標本の拡充を目指す。本年度は平成19年6月15日から21日に、岐阜県大垣市上石津町と三重県北牟婁郡紀北町海山区の民有林において木材標本採集の実習を行った。その後、森林総合研究所において採集標本の整理と配布、データベースへの登録を行った。

イ. 中国新石器時代遺跡における木材利用の解明²

昨年度に引き続き、中国浙江省の新石器時代遺跡である田螺山遺跡に2007年9月と2008年2月に、また2008年2月時には浙江省杭州市余杭博物館を訪れ、田螺山遺跡及び余杭南湖遺跡から出土した木質遺物約300点のサンプリングを行った。これらについては現地で作成したプレパラートあるいは遺物小片を借用して持ち帰り、小片からはプレパラートを作成して、生存圏材鑑室に持ち込み、材鑑室所蔵現生材プレパラート及び所蔵文献を参照して同定を行った。

ウ. 木材の経年変化の解明とその予測

木材の経年変化について、ナノおよびメゾ構造の観点から、実験データの拡充を図った。収集した建築古材の年代を正確に特定するために炭素14ウイグルマッチング法と年輪年代法を併用して検討している。また、H20年2月に「年輪から分かること」と題して年輪年代学に関する生存圏シンポジウムを開催した。

エ. 生存研材鑑データベースを核とした国内大学収蔵標本の実態把握と情報整備

5大学(北大、東北大、東大、京大、九大)における材鑑の整理・保管の現況報告をもとに、森林総合研究所の材鑑収集、整理、情報公開システムに習った、材鑑を活用しやすい環境を整備していくための将来的な展開や本年度の目標について意見交換をおこなった。

森林バイオマス評価分析システム共同利用

1. 概要

京都大学生存圏研究所森林バイオマス評価分析システムは、細胞レベルから分子レベルにいたるまできわめて複雑な木質の性状を、専門的技術をもちいて正確に評価するシステムであり、平成 18 年度より共同利用の運用を開始した。平成 18 年度は、まず木質バイオマスの形成、特にリグニン分析とリグニン生成経路の網羅解析を中心に共同利用を受け付けた。

1.1 共同利用に供する主な設備

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

1.2 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

1.3 共同利用の形態

- 木質バイオマスは細胞レベルから分子レベルにいたるまできわめて複雑であり、その正確な評価には専門的技術を要する。これらの評価方法は、確立されて久しい技術であり、それ自体は先端研究対象となるものではない。しかし、熟練を要し、昨今流行の試薬キットなどとは異なり、未習熟の誰でもが簡単に結果を出せるような手法ではない。よって、木材分析に不慣れな研究者から、形質転換植物の評価分析に関する依頼が多く寄せられていた。さらに、バイオマスから燃料、有用化学品などを生産するバイオリファイナーが近年急展開しており、木質バイオマスの変換効率を左右するリグニンの構造分析に関する要望が増加している。これらの期待に応えるべく立ち上げられたのが、本システムである。すなわち、リグニンおよび関連化合物の評価分析につき、分析手法の提供をベースとした共同利用研究を進めている。
- 国際共同利用について。当研究所では、木質バイオマス成分の分析に関する国際共同研究の実績を有する。よって、これらを核として、森林バイオマス評価分析システムを国際共同利用へ展開させたい。

1.4 共同利用の公募

- 平成 19 年度は、平成 18 年度分の分析に年度前半を費やしたため、平成 19 年 9 月 10 日付で公募を開始した。なお、共同利用研究の性格上公募は随時受け付けている。公募に関する URL は、<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/FBAS/index.html> である。

2. 本年度の実績

第 1 回専門委員会を、平成 19 年 8 月 29 日に開催し、本年度の運営について決定した。引き続いて公募を行い、応募のあった 7 件につき、平成 18 年 10 月 25 日に第 2 回専門委員会を開催し全課題採択とした。さらに平成 19 年 12 月 3 日までに追加で 1 件の公募があり、平成 19 年 12 月 4 日に第 3 回専門委員会を開催し全課題採択とした。各課題は以下の通りである。

整理番号	研究課題	研究代表者		所内担当者
		氏名	所属機関・職名	
19-1	電子線回折法による人工合成セルロースの観察	木村 俊作	京都大学大学院工学研究科材料化学専攻・教授	杉山 淳司

19-2	シロイヌナズナ細胞壁形成統御因子の解明	鈴木 史朗	京都大学生存基盤科学研究ユニット・科学技術振興助教	梅澤 俊明
19-3	ポプラ myb 転写因子の機能解明	鈴木 史朗	京都大学生存基盤科学研究ユニット・科学技術振興助教	梅澤 俊明
19-4	バイオフェューエル生産のためのリグノセルロース前処理プロセスの解析	中村 嘉利	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授	渡辺 隆司
19-5	シロイヌナズナ管状要素分化系における二次壁形成制御遺伝子の同定	出村 拓	独立行政法人理化学研究所植物科学研究センター・チームリーダー	梅澤 俊明
19-5	イネ形質転換リグニンの解析	坂本 正弘	京都大学大学院農学研究科・講師	梅澤 俊明
19-6	形質転換植物の細胞壁成分の解析	日尾野 隆	王子製紙(株) 研究開発本部 森林資源研究所・上級研究員	梅澤 俊明
19-7	歴史的建造物由来古材における化学成分の評価	横山 操	京都大学生存圏研究所・日本学術振興会 特別研究員	梅澤 俊明
19-8	植物縮合型タンニンの新規構造解析法の開発	中坪 文明	京都大学大学院農学研究科・教授	梅澤 俊明

3. 特記事項

- 化石資源に代わる木質バイオマスの育成・有効利用に関する研究開発が、近年益々加速している状況を反映して、形質転換植物や森林バイオマスの化学分析の必要性が高まっており、本システムへの期待も益々高まってきた。実際、本システムの平成19年度のユーザーである王子製紙(株)からは、平成20年度に技術員が1名(週5日、フルタイム勤務)派遣され、専属で本システムの利用に当たっている。

4. 研究成果紹介・共同利用についての学術的紹介

本システム専属の当研究所の非常勤技術員の勤務時間は一日8時間(休憩を含む)、週2日であり、分析可能検体数が極めて限られている。その結果、平成19年度においては、前年度の試料の分析に年度前半を費やした。それでも、徐々に成果が蓄積しつつあり、以下のように、リグニン分析の標準プロトコールの改良や、リグニン生合成前駆体やリグニン分解物の分析を研究内容に含む成果が報告されている。すなわち、以下の通り、雑誌投稿4件、国際会議における成果報告1件、国内学会における成果報告1件がなされた。

梅澤俊明、和田将平、榊原紀和、山村正臣、鈴木史朗、服部武文、幸田みどり、森林バイオマス評価分析システムにおけるリグニン分析プロトコール、生存圏研究、3, 73-75 (2007)

Umezawa, T., Wada, S., Sakurai, N., Ogata, Y., Sakakibara, N., Nakatsubo, T., Suzuki, S., Takahashi, Y., Hattori, T., Shibata, D., Characterization of Transcription Factors Controlling the Cinnamate/Monolignol Pathway by Gene-Coexpression Network Analysis of Microarray Data Sets, 10th International Congress on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry, Madison, June 10-14 (2007)

高橋資典、鈴木史朗、服部武文、櫻井望、尾形善之、柴田大輔、梅澤俊明、シロイヌナズナ花茎の二次壁形成時に発現する調節遺伝子の発現解析、第57回日本木材学会大会、広島、8月8～10日(2007)

Nakatsubo, T., Kitamura, Y., Sakakibara, N., Mizutani, M., Hattori, T., Sakurai, N., Shibata, D., Suzuki, S., Umezawa, T., At5g54160 gene encodes *Arabidopsis thaliana* 5-hydroxyconiferaldehyde O-methyltransferase, J. Wood Sci., in press (2008)

- Nakatsubo, T., Li, L., Hattori, T., Lu, S., Sakakibara, N., Chiang, V.L., Shimada, M., Suzuki, S., Umezawa, T., Roles of 5-Hydroxyconiferaldehyde and caffeoyl CoA *O*-methyltransferases in monolignol biosynthesis in *Carthamus tinctorius*, Cellulose Chem. Technol., in press (2008)
- Nakatsubo, T., Mizutani, M., Suzuki, S., Hattori, T., Umezawa, T., Characterization of *Arabidopsis thaliana* Pinoresinol Reductase, a new type of enzyme involved in lignan biosynthesis, J. Biol. Chem., in press (2008)

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）、今村祐嗣、津田敏隆、川井秀一、矢崎一史、渡辺隆司、小松幸平、塩谷雅人、大村善治、矢野浩之、梅澤俊明、橋本弘蔵、山本衛、西尾嘉之（農学研究科）、林泰一（防災研究所）

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72回から第98回の生存圏シンポジウムを開催した。27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7件（第73、81、82、83、86、92、94回）である。残りの20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（第73、77、83、85、92回）を数える。参加人数は2172名であった。

生存圏シンポジウム

	開催日（開催場所）	シンポジウムタイトル
第72回	平成19年6月20日（木質ホール）	木質ラーメン構造の現状と今後の課題
第73回	平成19年7月25日（Bandung, Indonesia）	生存圏科学ミッションの海外展開に向けて
第74回	平成19年9月10日（木質ホール）	人間生活を支えるイソプレノイドーイソプレンから天然ゴムまでー
第75回	平成19年9月28日（京都リサーチパークサイエンスホール）	バイオ材料技術の産業化をめざしてーここまで来たバイオ材料技術ー
第76回	平成19年10月15日（木質ホール）	木質材料及び木質構造のこれからを考える若手の会
第77回	平成19年10月23日～27日（京都大学百周年時計台記念館）	CAWSES 国際シンポジウム
第78回	平成19年10月29日～10月31日（平安会館）	2007年セルロースおよび機能性多糖類に関する日欧研究集会
第79回	平成19年11月8日（木質ホール）	樹木の健康を診断する
第80回	平成19年11月15日～16日（福井市地域交流プラザ）	第14回生存圏波動分科会「シミュレーション奥儀」
第81回	平成19年12月6日～7日（化研・総合研究実験棟講	開放型研究推進部（全国・国際共同利用

	日	義室(CB207-209))	装置・施設) 関連シンポジウム
第 82 回	平成 19 年 12 月 7 日	(化研・総合研究実験棟講義室(CB207-209))	生存圏学際萌芽研究センター(萌芽・融合プロジェクト) 関連シンポジウム
第 83 回	平成 19 年 12 月 11 日～15 日	(University Sains Malaysia)	RISH-USM Workshop in Penang
第 84 回	平成 19 年 12 月 12 日	(木質ホール)	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
第 85 回	平成 19 年 12 月 20 日～21 日	(木質ホール)	第 1 回赤道大気レーダーシンポジウム
第 86 回	平成 20 年 1 月 29 日	(木質ホール)	持続可能な生存圏の開拓と診断に向けた制御環境の利用
第 87 回	平成 20 年 1 月 7-8 日	(木質ホール)	中低緯度熱圏大気風速のロケット観測
第 88 回	平成 20 年 2 月 1 日	(木質ホール)	第 4 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-宇宙太陽発電とバイオマス変換-
第 89 回	平成 20 年 2 月 6 日	(芝蘭会館)	木の文化と科学 7
第 90 回	平成 20 年 2 月 18 日	(理化学研究所横浜研究所)	「未来を拓く樹木バイオテクノロジー」
第 91 回	平成 20 年 2 月 25 日	(木質ホール)	DOL/LSF 全国共同利用研究成果報告会
第 92 回	平成 20 年 2 月 23 日	(RISH Satellite Office, Cibinong, Indonesia)	Towards Establishment of Sustainable Humanosphere
第 93 回	平成 20 年 1 月 21-22 日	(木質ホール)	自然地理的条件と持続可能な開発-ブラマプトラ流域を対象として-
第 94 回	平成 20 年 3 月 10 日	(木質ホール)	生存圏学際萌芽研究センター(萌芽・融合プロジェクト) 関連シンポジウム
第 95 回	平成 20 年 3 月 10 日～12 日	(生存研・遠隔講義室(H109), セミナー室(HW525))	地球惑星流体の数値モデルの柔軟な開発の枠組みに関する研究集会
第 96 回	平成 20 年 3 月 3～4 日	(生存研)	RISH 電波科学計算機実験シンポジウム(KDK シンポジウム)
第 97 回	平成 20 年 3 月 11 日・17 日	(生存研 木質ホール、セミナー室(HW525))	生存圏シンポジウム「第 7 回宇宙太陽発電と無線電力伝送に関する研究会」
第 98 回	平成 20 年 3 月 28 日	(生存研・セミナー室(HW525))	木質材料実験棟 H18-H19 年度課題発表会

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造住宅を目指して、「自然素材活用型木造軸組構造住宅の開発」、「環境調和型木造住宅保守管理システムの開発」、「解体廃材の選択的木炭化技術に関する研究開発」、「住宅の調湿能判定法の開発」等の基盤的技術の開発を行う。

④ 地球大気情報の総合解析プロジェクト

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

⑤ 宇宙電磁環境衛星観測プロジェクト

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

⑥ 生存圏植物材料フロンティアプロジェクト

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

⑦ 生存圏における木質の循環解析

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

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」、「アカシアマンガ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 19 年度は 7 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、「金属トランスポーター発現植物による環境浄化技術の開発」や、「Development of bacterial cellulose based engineered scaffolding biomaterials for potential osteological applications」等の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、19 年度は理学研究科、工学研究科、農学研究科、および情報学研究科を含む 13 部局、計 44 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、19 年度は「熱帯生存圏の数値データの統合的データベース・解析システムの研究開発」や、「ベクトル磁場勾配簡易測定装置の開発と生存圏変動研究への応用」等の合計 10 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。

さらに、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きた。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、所外のよう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例的に行った。

1.1 当センターの構成員

- ・ センター長(今村祐嗣(兼任))
- ・ 所内教員(萌芽研究分野：渡辺隆司・篠原真毅、融合研究分野：畑 俊充・橋口浩之、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(古屋伸秀樹、Thi Thi Nge、増野亜実、藤田素子、園部太郎、I.Venkata Subba Reddy、Ragil Widyorini)
- ・ 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

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

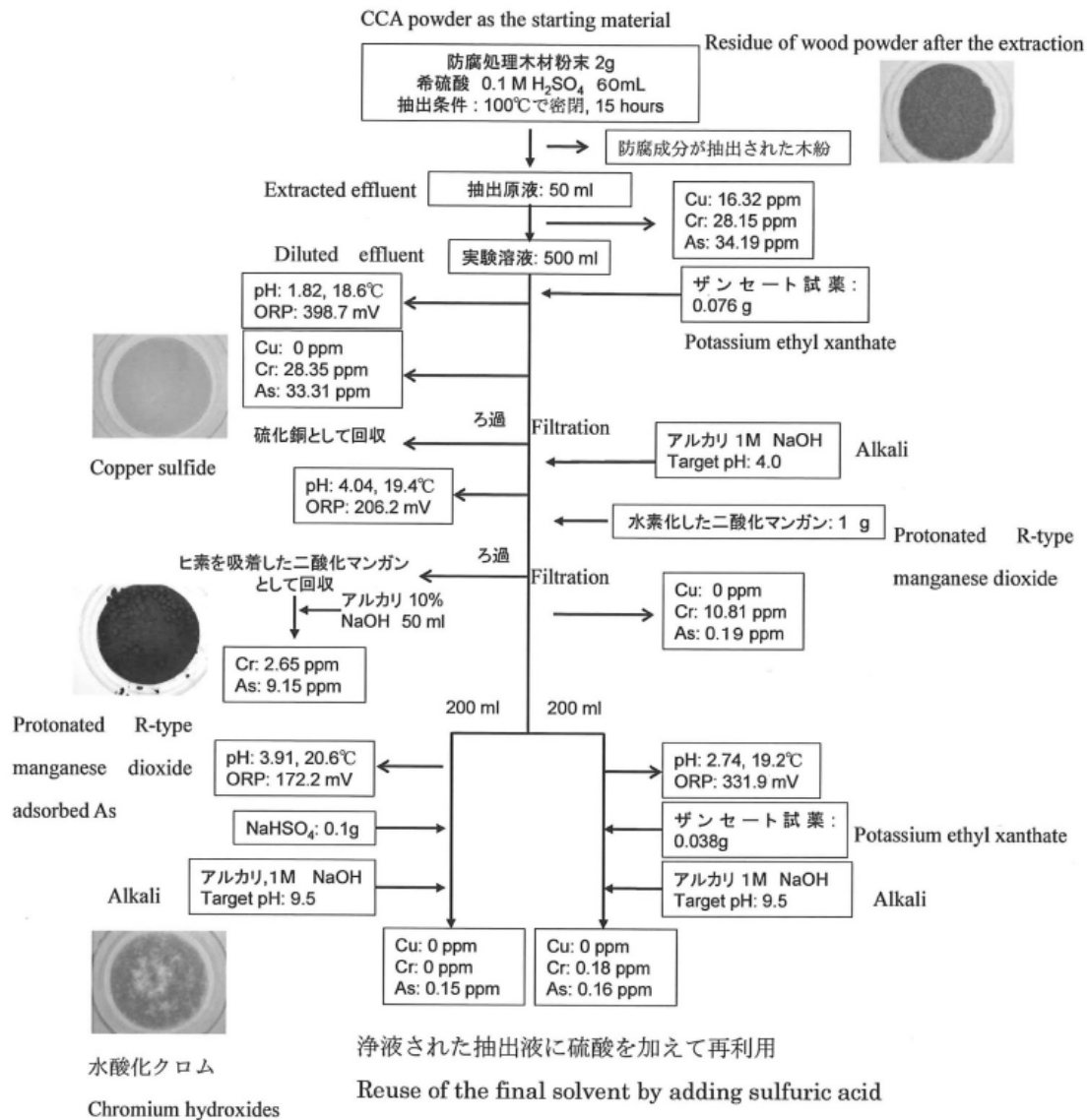
2. 本年度の実績

2.1 ミッション専攻研究員の研究概要

() は所内共同研究者

古屋仲秀樹 (畑 俊充) : 廃棄防腐処理木材無害化過程のミニマム・エミッション化

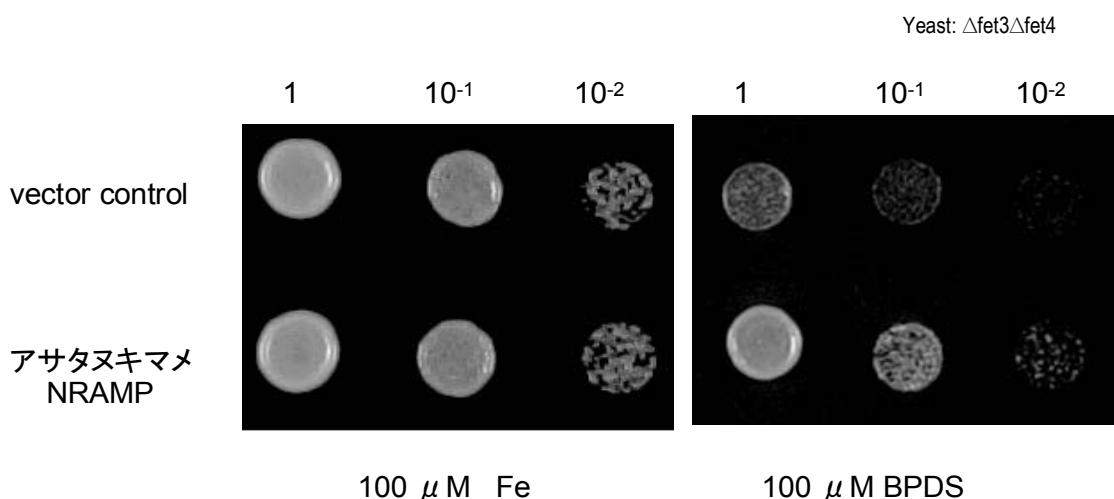
CCA(銅・クロム・ヒ素)処理廃材の処理方法を、その無毒化過程におけるミニマム・エミッション化を念頭において研究した。その処理方法は、防腐成分の抽出、廃液の浄化、そして廃木材のリサイクルからなる。希硫酸を用いた前抽出によって CCA のほとんど全てを溶出させ、その溶出液から、ザンセート試薬および水素化された酸化マンガンを使うことで銅、クロム、ヒ素を分離する方法を提案した。下に処理方法のフローチャートの一例を示した。また、廃木材の経済的なリサイクルのための応用例としてマクロポラス・カーボンを試作した。



CCA 廃材処理工程のフローチャート

増野亜実 (矢崎一史) : 金属トランスポーター発現植物による環境浄化技術の開発

カドミウムは微量摂取でも生体に害を及ぼす重金属であり、コメやダイズなどの農作物を介してヒトの健康に重篤な悪影響を与える。したがってカドミウム汚染された土壌は早急に浄化しなければならないが、近年その手法の一つとして、植物を利用した浄化技術、「ファイトレメディエーション」が注目されている。本研究の目的は、金属トランスポーター(輸送体)を利用することによりカドミウムの蓄積部位の制御を考慮した、ファイトレメディエーションに最適化された植物の開発である。本研究ではカドミウムのトランスポーターとして、アサタヌキマメ (*Crotalaria juncea*) から NRAMP(natural resistance-associated macrophage protein) 遺伝子を単離した。本膜タンパク質の金属輸送能を、酵母を宿主とした発現系を用いて解析した結果、アサタヌキマメの NRAMP はカドミウムに加えて鉄の輸送にも関与することが明らかとなった。このアサタヌキマメ NRAMP 遺伝子を発現させた形質転換体植物は、カドミウムに抵抗性を示した。また、カドミウム暴露後の形質転換植物体内ではカドミウムおよび鉄の含有量を測定したところ、地上部でのカドミウム蓄積が多く、鉄の吸収量は植物全体に対してコントロールより高かった。このことから、アサタヌキマメ NRAMP を利用することにより、カドミウム含有条件下でも鉄吸収を維持できるので生育し続けられ、かつカドミウムが地上部に蓄積しやすい植物が作出できたと結論づけられる。



<酵母を用いた生育比較実験>

左が鉄充分培地、右が鉄欠乏培地。鉄欠乏培地においてアサタヌキマメNRAMPを導入した酵母の方が生育がよいのは、効率よく鉄を取り込めるためと考えられ、すなわち本トランスポーターが鉄の輸送に関与することを示している。

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

マイクロ波加熱は被加熱物質を直接内部発熱し、迅速かつ選択的に加熱できることから省エネ、高効率化技術として注目されている。研究はマイクロ波による特異な加熱メカニズムに着目し、新規の熱変換プロセスとしてマイクロ波加熱技術を確立することを目的としている。実験室に、2.45GHz マグネトロン発振器、方形導波管、サーキュレーター、スタブチューナー、短絡板、ダミーロード、パワーメーターからなる定在波シングルモードアプリアケーターを試作し、電界最大、あるいは磁界最大の位置における被加熱物に対する加熱効果を検証している。また、グラファイト被加熱材を利用したマイクロ波の高温熱変換プロセスを開発し、そのバイオマス熱分解またセラミックス材料の合成プロセスへの応用を検討している。これまでに、本

マイクロ波加熱プロセスを用いて、二酸化チタンに炭素を修飾することにより、可視光領域で高活性を示す光触媒を短時間で合成することに成功した(特願 2008-42652)。

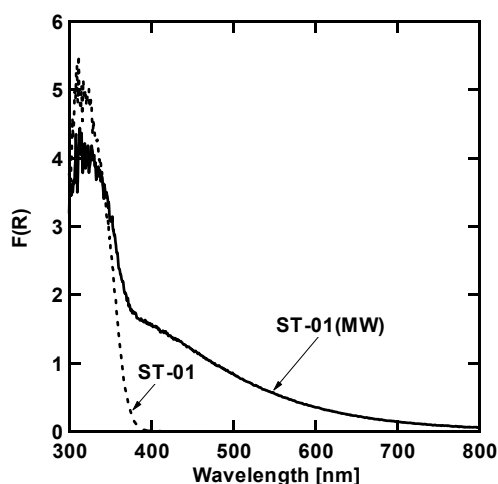


図1 紫外-可視吸収スペクトル

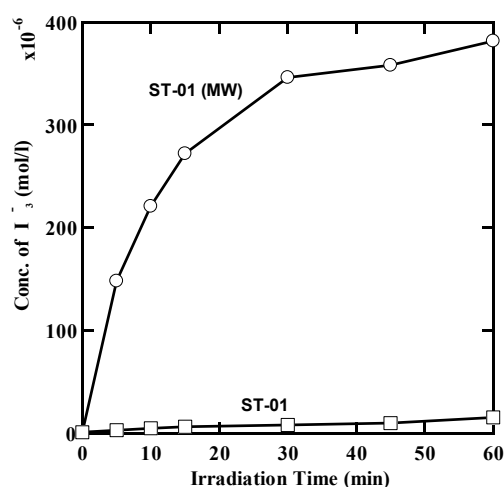
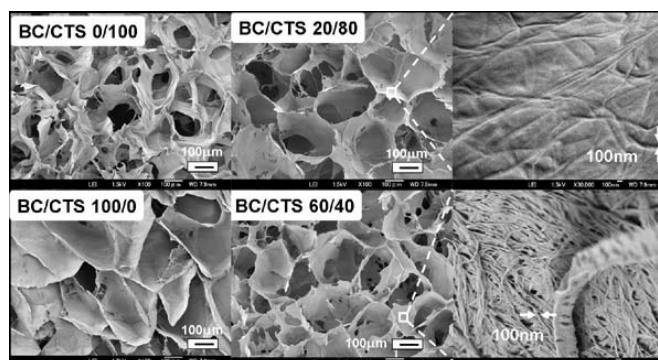


図2 可視光光触媒活性：三ヨウ化物イオン生成挙動

Thi Thi Nge (Junji Sugiyama) : Development of novel biofunctionalized bacterial cellulose-based biomimetic composites

In this project, bacterial cellulose (BC) derived materials, such as, *N*-acetylglucosamine (GlcNAc) incorporated bacterial cellulose (BC-GlcNAc), peptide immobilized BC gel (BC-RGD), bacterial cellulose/chitosan (BC/CTS) porous scaffolds were prepared and characterized for their potential use as biomedical materials in the field of reparative tissue engineering. The amount of GlcNAc incorporation of BC-GlcNAc, detected with liquid scintillation counting (LSC), was 0.04 to 0.28 mole% depending on the culture medium containing different sugar compositions (glucose:*N*-acetylglucosamine- Glc:GlcNAc). The mineral nucleation potential and biocompatibility of BC-GlcNAc were studied. For the second material BC-RGD, the cell adhesion property was investigated. Finally, BC/CTS porous composite scaffold, the third in the series, was fabricated and the structure-property relationships of developed scaffolds were characterized by FE-SEM, ATR-FTIR and mechanical testing. The mean pore diameter within the range of 100- 300 μm with ca 90% porosity of porous BC/CTS scaffolds (Figure.1) can be fabricated through freezing and lyophilization process. The compressive moduli (\sim 0.23-0.69 MPa) of scaffolds were found to be within the range of those of articular cartilage (0.5-1.0 MPa).

Figure 1. FE-SEM images of chitosan and bacteria cellulose porous scaffold (left), bacterial cellulose/chitosan, BC/CTS scaffolds (w/w%) (middle) and, respective magnified images of pore wall morphology (right).



藤田素子 (吉村 剛) : 持続可能なアカシア植林地に関する生態学的研究

インドネシア・スマトラ島では大規模アカシア植林が生息域の減少・改変を引き起こしている可能性がある。種多様性を維持するためには、ランドスケープ構造や管理方法を検討する必要がある。そこで本研

究では鳥類を対象に、アカシア植林地の中に設けられた、保全二次林とアカシア林との多様性の違いを明らかにすることを目的とした。特に、種の供給源であると考えられる保全二次林からの距離やアカシアの林齢に応じた鳥類相の変化に着目して、アカシア林が鳥類相の維持環境として機能するための保全二次林の配置やアカシアの林齢を明らかにする。調査地はインドネシア・スマトラ島、南スマトラ州に位置する PT. Musi Hutan Persada 社が所有する 26 万 ha のアカシア植林地とした。約 3,000ha の保全林内部 4 箇所、保全林からそれぞれ 0.5km, 1-2km, 5-6km, 10-15km の距離にある 0-1 齢のアカシア林 4 箇所と 4-5 齢のアカシア林 4 箇所の計 12 箇所において、鳥類の調査を行った。鳥類の調査では、10 分間のポイントカウント法により記録された半径 25m 以内の出現種は密度推定に、25m 内外の出現種は鳥類相データとして用いた。また補足する目的で、IC レコーダーを用いてポイントカウントと同時に 10 分間の録音を行った。その結果、アカシア林に比べ保全林で種数が高く、特に 0-1 齢のアカシア林で低い傾向を示した (表 1)。一部のアカシア林では種数が高かったが、25m 以内の生息密度は非常に低いことから、アカシア林の周辺の混交植生に生息する種を記録したためと考えられる。また、保全林からの距離に応じた鳥類種数の変化は認められなかった。

表 1. 保全二次林とアカシア林における鳥類調査 (ポイントカウント法) の結果.

	ポイント名	種数/センサス	個体数 /半径 25m 以内のセンサス	全種数
保全二次林	conserv4	26	2.52	56
	conserv5	24	2.46	
	conserv6	24	7.45	
	conserv7	29	3.22	
1 齢 アカシア林	1y05	13	1.13	32
	1y2	16	1.92	
	1y6	24	2.06	
	1y10	11	0.40	
4 齢 アカシア林	4y05	26	4.16	36
	4y2	22	4.21	
	4y6	11	1.60	
	4y10	12	4.27	

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

The spatial and temporal variations in water vapor (WV) are very important in the study of global climate change, because water vapor is one of the greenhouse gases and it releases latent heat through condensation. Recently different observational techniques evolved to probe the changes in the atmosphere on a global scale, irrespective of the weather conditions and to monitor continuously, with high temporal and spatial resolutions (both vertical and horizontal). Some of these techniques are self calibrated. To study the global variation of WV, we used COSMIC, AIRS, NCEP and ECMWF data sets. Each data set has its own salient features and these are useful to understand the water vapor globally more qualitatively as well as quantitatively. The COSMIC mission provides high vertical resolution data with limb scanning technique and Aqua satellite provides with high horizontal resolution using the nadir technique. By

combining these two, both vertical and horizontal variation of WV is studied globally as well as over the India and Indonesia regions. The estimation of WV from the satellites has the potential applications to study the evolution, onset and progression of the Indian summer monsoon. Similar studies can also be carried out over the Indonesian region and to study the Asian summer monsoon. The WV profiles from COSMIC 1dvar, AIRS are compared with those estimated from the radio sonde data over different geographical locations in Malaysia and also over the Gadanki, India are compared. The comparison is fairly good in most of the cases between COSMIC and radio sonde. However, AIRS is under estimating in all the cases. The NCEP reanalysis and ECMWF data are also used along with COSMIC and AIRS data sets for the comparison. The enhanced WV is observed along the ITCZ. WV estimated from COSMIC and AIRS are in consistent with the NCEP and ECMWF model results. The difference between these observations and their latitudinal and longitudinal variation of WV are discussed.

Ragil Widyorini (Shuichi Kawai) : Evaluation of biomass production of plantation forest in tropical area

~A case study of Acacia plantation forest, PT Musi Hutan Persada, Indonesia~

This research focused on dynamic analysis of tree growth and biomass production of Acacia plantation in South Sumatra, Indonesia. The data used in this study came from permanent plots established in the operational plantations of *Acacia mangium* Willd. managed by PT. Musi Hutan Persada (hereinafter referred as MHP) at Subanjeriji area in South Sumatra. The analyses were based on the long-term inventory data of planted stands from 2000-2005 that recorded from 2001 to 2006 (1-6 years old). The effect of block area and stand age was statistically evaluated. Correlation among tree growth parameters (i.e. diameter, height, stand volume, stand age) was then described. Annual increment was calculated and its relation with annual rainfall was discussed. The biomass of standing tree at 5 years of age can be estimated at around 94 Mg/ha, with the estimated carbon content of forest biomass is about 72 Mg C/ha.

2.2 平成 19 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的研究
	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的研究
大学院医学研究科・医学部	教授	杉本 直三	画像認識による木材の識別
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	藤田 稔	木質バイオマスの多面的利用に関する研究

大学院農学研究科・農学部	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的構築
	教授	谷 誠	森林・大気間における熱・水・CO2 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
	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・CO2 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
	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
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
エネルギー理工学研究所	教授	吉川 暹	次世代太陽電池の開発
防災研究所	教授	鈴木 祥之	伝統木造建築物の構造力学的解明
	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	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	Sidle, Roy C	Evaluation of land cover change on soil and water resources
	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	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	伊藤 潔	内陸地震の予知と災害軽減に関する研究
	准教授	諏訪 浩	山地災害の水文地形学的研究
	教授	釜井 俊孝	都市圏における地盤災害

防災研究所	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
	准教授	福岡 浩	森林圏における土砂災害・土砂環境の研究
	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」
	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
基礎物理学研究所	教授	嶺重 慎	生存圏としての宇宙プラズマ環境の研究
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
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
フィールド科学教育研究センター	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
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

2.3 平成19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	安藤 信 (フィールド科学教育 研究センター)	大面積長期観測プロットによるブナ科樹木の 衰退と気候変動との関係	杉山 淳司 山中 典和 馬場 啓一 金子 隆之	フィールド科学教育研究センター 鳥取大学乾燥地研究センター 農学研究科	1
2	家森 俊彦 (理学研究科)	ベクトル磁場勾配簡易測定装置の開発と 生存圏変動研究への応用	津田 敏隆 橋爪 道郎 Kamduang, Weerapong	理学研究科 チュラロンコン大学	1
3	小杉 緑子 (農学研究科)	熱帯雨林における生物起源揮発性有機炭 素(BVOC)放出量の計測	東野 達 谷 誠 中村 卓司	エネルギー科学研究科 農学研究科	1

4	須崎 純一 (地球環境学堂)	マイクロ波散乱計測による水田の土壌水分推定モデル構築と合成開口レーダ画像からの広域土壌水分推定	津田 敏隆 中村 卓司	地球環境学堂	1
5	高林 純示 (生態学研究センター)	緑のかおりが媒介する生態系生物間情報ネットワーク	矢崎 一史	生態学研究センター	1
6	田上 高広 (理学研究科)	アジア赤道域の気候・環境変遷の復元に関する基礎研究 -鍾乳石の同位体データと熱帯樹の成長輪データの高精度対比-	津田 敏隆 杉山 淳司 余田 成男 竹村 恵二 陀安 一郎 高津 文人 渡邊 裕美子	理学研究科 生態学研究センター	1
7	陀安 一郎 (生態学研究センター)	シロアリにおける無機元素循環系の解明に向けた基礎的検討	吉村 剛 中山 友栄 中野 孝教	生態学研究センター 総合地球環境学研究所	1, 4
8	中村 卓司 (生存圏研究所)	大気圏・生物圏・森林圏におけるフィールド計測のためのレーザー分光技術の開拓	塩谷 雅人 高橋 けんし	次世代開拓研究ユニット	1
9	福田 洋一 (理学研究科)	レーザー干渉方式高精度衛星重力ミッションによる陸水・土壌水分モニターの可能性に関する研究 -沿軌道データの利用可能性について-	津田 敏隆 山本 圭香 長谷川 崇	理学研究科	1, 3 アカシア
10	堀之内 武 (生存圏研究所)	熱帯生存圏の数値データの統合的データベース・解析システムの研究開発	塩谷 雅人 中村 卓司 山本 真之 山根 悠介	次世代開拓研究ユニット	1, 3 アカシア

(1) 大面積長期観測プロットによるブナ科樹木の衰退と気候変動との関係

1. 研究組織

代表者氏名：安藤 信（フィールド科学教育研究センター）

共同研究者：杉山淳司（生存圏研究所）、山中典和（鳥取大学乾燥地研究センター）、

馬場啓一（生存圏研究所）、金子隆之（農学研究科）

2. 研究概要

京都大学フィールド科学教育センター芦生研究林に1992年に設置されたモンドリ谷集水域長期観測プロット(16ha)にて、ブナ-スギ群落の長期観測が行われている。これまでに、胸高直径10cm以上の樹木について5年ごとに3回の毎木調査を行ってきた。今年度4回目の調査を行った。

1992-1997年を第I期、1997-2002年を第II期、2002-2007年を第III期とすると、冷温帯林の優占樹種であるブナ(*Fagus crenata*)では、第I期、第II期、第III期と進むにつれて、直径成長量が減少してい

た。また、ミズナラ(*Quercus crispula*)では、第 III 期に胸高直径の増加に伴う枯死率の増加が認められた。ミズナラではカシノナガキクイムシ(*Platypus quercivorus*)が運搬する病原菌(*Raffaelea quercivora*)による枯死が集団的に発生することが知られているが、第 III 期に見られた傾向はカシノナガキクイムシが寄主として太い木を選好する傾向に合致するものである。

冷温帯林の主要構成種のこれら衰退には、地球温暖化の影響が少なからず関与していると考えられ、今後も継続して観測することが、貴重な自然林の保全対策を考える上で重要である。

(2) ベクトル磁場勾配簡易測定装置の開発と生存圏変動研究への応用

1. 研究組織

代表者氏名：家森俊彦（理学研究科）

共同研究者：津田敏隆（生存圏研究所）、橋爪道郎（チュラロンコーン大学・理学部）

Kamduang, Weerapong（チュラロンコーン大学・理学部）

研究協力者：小田木洋子（理学研究科）

2. 研究概要

遺跡を傷つけることなく古代窯跡等に記録された残留磁化の方向を推定するために、磁化物体近傍の磁場ベクトルの勾配を、その場で簡易に測定する装置の製作と改良および実地調査を行った。今年度は、センサーの向きの調整機構等、機械部分の改良を行った結果、向きの不一致からくる誤差を一桁近く軽減することができた。その装置を用いて、約 900 年前と考えられるタイ・クメール時代の窯跡で実地試験測定を行った。

(3) 熱帯雨林における生物起源揮発性有機炭素 (BVOC) 放出量の計測

1. 研究組織

代表者氏名：小杉緑子（農学研究科）

共同研究者：東野 達（エネルギー科学研究科）、谷 誠（農学研究科）、

中村卓司（生存圏研究所）、奥村智憲（エネルギー科学研究科）、

中川健太（エネルギー科学研究科）、高梨 聡（森林総合研究所）

2. 研究概要

森林はイソプレン、モノテルペンなどの生物起源揮発性有機化合物 (BVOC) を放出している。本研究では、アジア熱帯雨林の葉群においてイソプレンをはじめとする BVOC の放出量を計測し、また同時に光合成過程や気象条件を観測することにより、その放出過程について考察した。特に高温かつ現存量の多い熱帯林における BVOC の放出量、放出過程、そのメカニズムについては、昨今世界的に注目され始めているものの、観測例は圧倒的に少なく、本研究はその先駆的なものとして位置づけられる。

(4) マイクロ波散乱計測による水田の土壌水分推定モデル構築と合成開口レーダ画像からの広域土壌水分推定

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（生存圏研究科）

2. 研究概要

近年、世界的に旱魃の被害が報告され、旱魃の影響を緩和するために衛星リモートセンシングによる対策が望まれている。本研究では、水田のマイクロ波散乱計測、水田のマイクロ波散乱モデルの確立、および合成開口レーダ (SAR) 画像を用いたタイ東北部の非湛水期水田の土壌水分推定を試みた。まず、圃場にて 3 次元デジタイザを用いてイネの葉の 3 次元座標を計測し、イネの 3 次元モデルを構築した。次に、水田を模した供試体を作成し、電波暗室において水田のマイクロ波散乱を計測した。またイネの 3 次元モデルを用いて、4 成分分解手法¹⁾を適用して水田における散乱特性を把握した。一方、タイ東北部ブリラム県の

天水田において、土壌水分量と土壌温度の計測を継続した。最後に、地上計測データを活用して、旱魃リスク評価に活用可能な、1990年代のブリラム県の水田の土壌水分分布図を作成した。

(5) 緑のかおり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：高林純示（生態学研究センター）

共同研究者：矢崎一史（生存圏研究所）

2. 研究概要

イネの師管液を吸う吸汁昆虫であるセジロウンカの吸汁加害によって、イネに糸状菌病であるいもち病菌に対する抵抗性が誘導される。今回、セジロウンカの加害は、細菌病である白葉枯病に対しても強い抵抗性を誘導することを明らかにした。一方、セジロウンカの近縁種であるトビイロウンカに加害されたイネでは、ほとんど抵抗性が誘導されなかった。この間接誘導抵抗性の差を詳細に解析したところ、「緑のかおり」の成分を合成する酵素遺伝子の発現がセジロウンカの加害時のみ誘導されており、実際に、白葉枯病菌の増殖を抑制する「緑のかおり」のひとつ、青葉アルデヒドがセジロウンカ加害時にイネ体内に有意に蓄積していることが明らかとなった。また、青葉アルデヒドが抵抗性誘導時の「情報」として利用されている可能性も示された。これらのことから、「緑のかおり」がイネにおける間接防衛機構において重要な役割を持つことが明らかとなった。

(6) アジア赤道域の気候・環境変遷の復元に関する基礎研究

—鍾乳石の同位体データと熱帯樹の成長輪データの高精度対比—

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）、高津文人（生態学研究センター）、

渡邊裕美子（理学研究科）

2. 研究概要

アジア赤道域の中核に位置するインドネシア・ジャワ島において、鍾乳石試料を用いた同位体／化学分析と年代測定、および、熱帯樹の成長輪の分析を行い、それらを気象の観測データも含めて高精度対比することにより、当該地域の気候・環境変遷を多元的に復元する。加えて、日本を含む中緯度域でも同様の高精度対比を行い、赤道域との比較検討を進める。

まず、西ジャワ地域の鍾乳石について、組織観察と年縞の同定、複数セクションにおける縞数え、および、ウラン・トリウム法と鉛 210 法を用いた放射年代測定を行い、鍾乳石の成長に関する正確な時間モデルを確立する。次に、年縞ごとに酸素・炭素同位体比の高精度時系列データを得る。

また、同じ地域から入手した熱帯樹試料について、成長輪の観察と同定、および、複数セクションにおける縞数えを行い、熱帯樹成長の時間モデルを確立する。その後、成長輪ごとに綿密な安定同位体比分析を行う。試料よりセルロース分を分離精製し、安定同位体用質量分析計により測定することにより、酸素などの同位体比の高精度時系列データを得る。

最後に、これら 2 組の時系列データセットと、過去およそ 100 年間に蓄積された、当該地域の気象観測データとの比較対比を行う。鍾乳石の酸素・炭素同位体比変動は、岩盤浸透水（ドリップウォーター）を通じて、鍾乳洞付近の局地的な降水量の指標となる事が知られており、事実これまでの予察的な研究結果から、赤道域でも良好な指標となる事が期待される。また、熱帯樹の酸素同位体比変動も、樹液を通じて、局地的な降水量を反映する事が知られている。そこで、気象観測により得られた、実際の降水量の年々変動とこれらの指標データを高精度対比し、上記二つのアプローチの信頼度評価を行う。

(7) シロアリにおける無機元素循環系の解明に向けた基礎的研究

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）、中山友栄（生存圏研究科）、
中野孝教（総合地球環境学研究所）

2. 研究概要

シロアリは、熱帯域を中心として温帯域にまで分布している社会性昆虫であるが、物質循環の側面からみても重要な役割を果たしている。シロアリが有機物の分解者であることから、有機元素の安定同位体分析に関しては多くの研究がなされてきた。特に炭素・窒素の安定同位体比を用いた物質変換過程の知見は多い。

本年の研究は、これら有機元素に加え無機元素の動態に関する知見を深めることを検討したものである。放射性元素である ^{210}Pb および ^{137}Cs を用いる試みを既に行っており¹⁾、本研究では安定同位体指標としてホウ素 (^{11}B と ^{10}B) やストロンチウム (^{87}Sr と ^{86}Sr) の無機元素を用いる試みを行った。食材性昆虫であるシロアリにおける無機元素循環系の解明に向けた基礎的研究として、ホウ素安定同位体比分析方法の確立およびシロアリ体内のストロンチウム同位体比の測定を行い、その可能性を示した。

(8) 大気圏・生物圏・森林圏におけるフィールド計測のためのレーザー分光技術の開拓

1. 研究組織

代表者氏名：中村卓司（生存圏研究所）

共同研究者：塩谷雅人（生存圏研究所）、高橋けんし（次世代開拓研究ユニット）

2. 研究概要

生存圏研究所が人類の持続的発展をめざして取り組んでいる4つのミッションのひとつである「環境計測・地球再生」ミッションでは、大気圏の計測が重要な要素となっている。その計測の範囲を森林圏・生物圏へと拡大し、圏間の物質輸送・エネルギー輸送や相互作用を観測して地球再生への方向性を捉えることが火急に必要となっている。本研究では、レーザー技術をキーワードに、フィールド観測のための新しい計測装置を技術開発することを目的とした。開発は、大気圏・森林圏・生物圏における大気微量成分の遠隔および近接観測に焦点を当て、レーザーレーダーによる遠隔計測と、レーザー分光によるフィールド近接観測の2つの課題を中心に、フィールド展開の可能性を探った。

遠隔観測においては、これまで生存圏研究所・信楽MU観測所で開発してきた大型ラマン・ミー・レイリーライダー、また小型のラマンライダー装置の観測で車載型のラマンライダーを開発して、水蒸気混合比やエアロゾル（後方散乱比）の大気境界層内での空間時間変化を観測することに応用してきた背景を受け、本課題ではさらに装置を小型化して森林圏での計測、すなわち林地でのフィールド計測を行なうための装置の開発や改良、さらに今後種々の微量成分の計測に発展させるための基礎データを得ることを目標とした。レーザー分光による近接観測においては、大気圏・森林圏・生物圏の化学過程において重要な役割を担っている窒素酸化物や二酸化炭素などの微量成分をターゲットとし、従来のガスクロや質量分析では困難であった、フィールドでのオンサイト計測を高い時間分解能で行うことができるような、独自の光学計測技術の開拓を目標とした。超長光路レーザー吸収分光法やレーザー誘起蛍光分光法などを用いて、先端的なフィールド計測装置を開発するために、新しいレーザー計測技術を探究した。本報告では特にレーザーレーダーの開発に関してその詳細を述べる。

(9) レーザー干渉方式高精度衛星重力ミッションによる陸水・土壌水分モニターの可能性に関する研究—沿軌道データの利用可能性について—

1. 研究組織

代表者氏名：福田洋一（理学研究科）

共同研究者：津田敏隆（生存圏研究所）、山本圭香（理学研究科）、
長谷川崇（理学研究科）

2. 研究概要

2002年3月に打上げられた米国とドイツのジョイント・ミッションである GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)では、全球的な重力の時間的変化を、約1000kmの空間分解、約30日程度の時間分解能で観測することができ、広域な重力変化の研究に大きく寄与している¹⁾。GRACEによる重力場の測定には、Low Low Satellite to Satellite Tracking(L-L SST)と呼ばれる方法が用いられているが、GRACEの後継ミッション GRACE-FO(Follow On)では、衛星間の距離測定にレーザー干渉測距による SSI(Satellite to Satellite Interferometry)を採用することで、GRACEより2~3桁感度が向上するといわれている。本研究では、衛星重力の応用として最も実用的かつ重要な陸水・土壌水分のモニターを想定し、GRACE-FOが実現した場合、どの程度の精度・空間分解能が得られるかについて検討を行い、その可能性を探った。本年度は、特に、GRACEのLevel-1データに相当する、沿軌道データの利用可能性について検討を行い、気圧補正の重要性を指摘した。

(10) 熱帯生存圏の数値データの統合的データベース・解析システムの研究開発

1. 研究組織

代表者氏名：堀之内武（生存圏研究所）

共同研究者：塩谷雅人（生存圏研究所）、中村卓司（生存圏研究所）、

山本真之（生存圏研究科）、山根悠介（次世代開拓研究ユニット）

2. 研究概要

研究代表者らが開発を行っている、数値データを Web ブラウザで解析・可視化可能な形でデータベース化を行うツール Gfdnavi を用いて、熱帯生存圏研究のためのオンラインデータベースを試作した。また、そのための開発を行った。これにより、Gfdnavi が学際的な生存圏研究にふさわしいとの見通しを得ることができた。

2.4 平成19年度オープンセミナー

回数	開催月日		演 者	題 目
51	5 月	30 日	古屋仲 秀樹 (ミッション専攻研究員)	R型二酸化マンガンによる水の酸化と二酸化炭素の還元
52	6 月	13 日	Thi Thi Nge (ミッション専攻研究員)	Development of bacterial cellulose-based functional biomaterials
53		20 日	増野 亜実 (ミッション専攻研究員)	カドミウム汚染土壌を対象とした浄化植物の開発
54		27 日	Ying Hei Chui (客員教授・カナダ)	Forestry and Forest Product Industries in Canada
55	7 月	4 日	藤田 素子 (ミッション専攻研究員)	鳥類排泄物による栄養塩の運搬 ー都市域ランドスケープと山地帯ランドスケープの比較ー
56		11 日	園部 太郎 (ミッション専攻研究員)	熱プロセスにおけるバイオマスおよびセラミックス材料の物性評価の研究 ーマイクロ波加熱・照射効果の展望ー

57	9 月	19 日	家森 俊彦 (理学研究科・教授)	歴史遺跡と地磁気永年変化
58		26 日	福田 洋一 (理学研究科・教授)	衛星重力ミッションGRACEによる最近の応用研究
59	10 月	10 日	田上 高広 (理学研究科・教授)	インドネシアの鍾乳石を用いたアジア赤道域の古気候学的研究 (KAGI-21 鍾乳洞プロジェクト)
60		17 日	堀之内 武 (生存圏研究所・助教)	熱帯生存圏の数値データの統合的データベース・解析システムの研究開発
61		24 日	Ragil Widyorini (ミッション専攻研究員)	Evaluation of biomass production of plantation forest in tropical area -A case study of Acacia plantation forest, P.T. Musi Hutan Persada, Indonesia-
62	11 月	14 日	陀安 一郎 (生態学研究センター・准教授)	シロアリにおける無機元素循環系の解明に向けた基礎的研究
63		21 日	I.V.Subba Reddy (ミッション専攻研究員)	The global variation of water vapor using COSMIC and Aqua satellites
64		28 日	中村 卓司 (生存圏研究所・准教授)	レーザーレーダーを用いた大気圏・森林圏のフィールド観測
65	12 月	12 日	安藤 信 (フィールド科学教育研究センター・准教授)	芦生のブナは生き残れるか？ -天然林の長期動態調査-
66		19 日	Michael Lenz (客員教授・オーストラリア)	The usefulness of pest termites: Models for understanding termite biology
67	1 月	16 日	高林 純示 (生態学研究センター・教授)	植物の間接防衛戦略を雨よけハウス内の害虫防除に応用しよう！
68		23 日	須崎 純一 (地球環境学堂・准教授)	旱魃モニタリングのための合成開口レーダ画像を用いた水田の土壌水分推定
69		30 日	小杉 緑子 (農学研究科・助教)	ガス交換という視点でみた東南アジア熱帯雨林の機能
70	2 月	6 日	Chow-Yang Lee (客員教授・マレーシア)	Urban pest management in South East Asia - Changing trends, current and future perspectives -

2.5 シンポジウムの開催

(1) 生存圏研究ミッションシンポジウムの開催

日時：平成 19 年 12 月 7 日（金） 午前 10：50～

場所：化学研究所バイオインフォマティクスセンター講義室（総合研究実験棟 2 階）

プログラム

- 10:50 挨拶・研究所ミッションに関する説明
今村祐嗣（京都大学生存圏研究所 学際萌芽研究センター長）
- 11:00 「ミッション1：環境計測・地球再生」
ミッション1：環境計測・地球再生について
塩谷雅人（京大RISH）
樹木からのイソプレレン放出の意義と大気環境へのインパクト
矢崎一史（京大RISH）
陸域・海域生物圏と地球大気変動
秋元 肇（海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター）
- 12:50 「ミッション2：太陽エネルギー変換・利用」
ミッション2：太陽エネルギー変換・利用について
渡辺隆司（京大RISH）
大電力レクテナの開発ー宇宙太陽発電からのスピノフー
篠原真毅（京大RISH）
「餌ーシロアリー腸内微生物叢」系を用いた新規微生物スクリーニング法の開発
青柳秀紀（筑波大）
- 13:40 「ミッション3：宇宙環境・利用」
ミッション3：宇宙環境・利用について
大村善治（京大RISH）
宇宙環境・利用のための技術開発
小嶋浩嗣（京大RISH）
宇宙プラズマ環境の能動利用ー磁気プラズマセイル推進ー
船木一幸（宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部）
- 14:50 「ミッション4：循環型資源・材料開発」
ミッション4：循環型資源・材料開発について
小松幸平（京大RISH）
多糖類を用いた木材用天然接着剤の開発
梅村研二（京大RISH）
低炭素社会における木造住宅の役割ー200年住宅ビジョンー
井上雅文（東京大）
- 15:40 「インターミッション：アカシアプロジェクト」
インターミッション：アカシアプロジェクトについて
矢野浩之（京大RISH）
Evaluation of Biomass Production of Plantation Forest in Tropical Area
Ragil Widyorini
地域研究と生存圏科学をつなぐ
河野泰之（京大 東南アジア研究所）
- 16:30 ディスカッション：研究所ミッションの現状と今後
座長 津田敏隆（京大RISH 開放型研究推進部長）

(2) 生存圏萌芽・融合ミッションシンポジウムの開催

日時：平成20年3月10日（月）午前9：30～
場所：生存圏研究所木質ホール3階

プログラム

- 9：30 挨拶 川井秀一（生存圏研究所長）
[萌芽ミッションプロジェクト]
- 9：35 須崎純一（京都大学地球環境学堂）
マイクロ波散乱計測による水田の土壌水分推定モデル構築と合成開口レーダ画像からの広域土壌水分推定
- 9：47 家森俊彦（京都大学理学研究科）
ベクトル磁場勾配簡易測定装置の開発と生存圏変動研究への応用
- 9：59 中村卓司（京都大学生存圏研究所）
大気圏・生物圏・森林圏におけるフィールド計測のためのレーザー分光技術の開拓
- 10：11 高林純示（京都大学生態学研究センター）
緑のかおりが媒介する生態系生物間情報ネットワーク
- 10：23 小杉緑子（京都大学農学研究科）
熱帯雨林における生物起源揮発性有機炭素（BVOC）放出量の計測
- 10：35 安藤 信（フィールド科学教育研究センター）
大面積長期観測プロットによるブナ科樹木の衰退と気候変動との関係
- 10：47 福田洋一（京都大学理学研究科）
レーザー干渉方式高精度衛星重力ミッションによる陸水・土壌水分モニターの可能性に関する研究 —沿軌道データの利用可能性について
- 10：59 堀之内武（京都大学生存圏研究所）
熱帯生存圏の数値データの統合的データベース・解析システムの研究開発
- 11：11 田上高広（京都大学理学研究科）
アジア赤道域の気候・環境変遷の復元に関する基礎研究
—鍾乳石の同位体データと熱帯樹の成長輪データの高精度対比—
- 11：23 陀安一郎（京都大学生態学研究センター）
シロアリにおける無機元素循環系の解明に向けた基礎的検討
[ミッション専攻研究員]
- 11：40 古屋仲秀樹
廃棄防腐処理木材無害化過程のミニマム・エミッション化
- 11：55 Thi Thi Nge
Development of novel functionalized bacteria cellulose-based biomimetic composites
- 13：15 増野亜実
金属トランスポーター発現植物による環境浄化技術の開発
- 13：30 藤田素子
持続可能なアカシア植林地に関する生態学的研究
- 13：45 園部太郎
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
- 14：00 I. VENKATA Subba Reddy

The global variation of water vapor using different observational platforms (COSMIC, Aqua, NCEP and ECMWF)

14:15 Ragil Widyorini

Evaluation of biomass production of plantation forest in tropical area
-A case study of Acacia Plantation Forest, P. T. Musi Hutan Persada, Indonesia-

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 1 では、MU レーダー、衛星、ロケット、バルーンなどを用いた観測によって地表近くから電離圏に至る地球大気全体の研究、および木質の遺伝子生化学と木質資源の有効利用の研究をより深化・融合させることで、環境計測と地球再生の科学研究を実施し、社会的な要請に応えるべくさまざまな研究活動を推進している。具体的には、信楽 MU レーダーを中心とするアクティブリモートセンシング技術の開発、赤道大気レーダー (EAR) を中心とする大気観測、衛星観測及び観測データベースに基づくグローバル大気環境の研究などのミッションプロジェクトにもとづいて、将来予測を可能とするような精緻な地球大気環境の情報を蓄積しつつある。特に、地球大気運動を駆動する心臓部ともいえる熱帯域において、新たな観測拠点を展開し、国際的な共同利用体制の中で、先端的な大気計測を実施している。また、有用な代謝・輸送遺伝子の探索と分子育種による高機能性樹木の創出、木質形成バイオシステムの統御機構の解明と木質資源再生、森林微生物による森林圏土壌活性化機構に関する研究などのミッションプロジェクトを通して、森林の回復保全と汚染環境の改善を果たしつつ、持続的に木質資源を生産・利用するシステム構築に向けた取り組みを行っている。さらに、萌芽・融合的な研究として、植物及び根圏微生物による環境修復技術の開発、熱帯域における森林・大気相互作用に関する研究などの萌芽プロジェクト研究を進めた。平成 19 年度の特筆事項としては、「持続可能生存圏開拓診断 (DASH) システム」が京都大学概算要求 (生態学研究センターと共願) において承認され、ミッション 1 および 2 を中心として DASH 設置準備委員会を立ち上げ、年度末に本システムを完成させた。

研究課題：

- 「森林バイオマス形成統御因子の網羅的解析に対する基盤整備」
- 「微細構造観察による引張あて材の応力発生機構解析」
- 「イソプレレン合成遺伝子によるプラントマス増大に関する基礎的研究と応用基盤」
- 「セルロース生合成酵素を活性化するホスファターゼを過剰発現する組換えポプラの作出」
- 「ホヤセルロースのインビトロ合成系の確立」
- 「銅系保存処理廃材の森林担子菌によるレメディエーションに関する基礎研究」
- 「地上付近の大気の変動の遠隔計測・フィールド計測に関する研究」

ミッション 2：太陽エネルギー変換・利用

地球人口の爆発的増大と、それに伴う石油、石炭などの化石燃料の大量消費により、地球温暖化問題とエネルギー資源の枯渇問題が深刻化している。本ミッションでは、宇宙太陽発電所 (SPS) の根幹技術としてのマイクロ波送受電技術の開発、木材加工へのマイクロ波応用に関する基礎技術開発、マイクロ波と白色腐朽菌を利用した木質バイオマス変換、バイオマス変換に適した白色腐朽菌の機能解析と分子育種、木材基板のアンテナ応用に関する基礎技術開発、木材劣化生物を用いた木質バイオマスの効率的エネルギー

変換、自己放熱性炭素基板材料の開発など、太陽エネルギー変換利用に関連した様々な学際・融合プロジェクトを発掘・推進してきた。具体的な成果としては、ミッションプロジェクトとして、マイクロ波制御技術と微生物利用の研究が融合したプロジェクトを推進し、新規白色腐朽菌の屋外大量培養法、新規なバイオマス変換用マイクロ波照射装置およびソルボリシス前処理法を開発した。また、マイクロ波制御技術の根幹となる位相制御マグネトロン性能を大幅に向上させることに成功した。SPS へ応用するための高いレベルの無線送電技術の開発を目指し、軽量・高効率マイクロ波送電器、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、および低雑音マグネトロンの開発やそのシミュレーションコードなどを行ってきた。また、位相制御マグネトロンやビーム制御技術を応用した、飛行船からの送電実験のためのシステムを設計製作した。さらに SPS やマイクロ波送受電の実験設備である METLAB 等を全国共同利用に供してきた。

バイオマスエネルギーの生産に関しては、この他、シロアリを用いてバイオマスから水素やメタンを生成する研究を世界に先駆けて開始した。さらに、宇宙太陽発電所の基盤材料となる高性能自己放熱性炭素材料や木材でできたアンテナを開発した。さらに、マイクロ波照射技術を組み入れた木材の変換プロセスを機能性ポリマーの発酵生産に応用した研究を進めている。ミッション 2 プロジェクトの中で、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が、現在では、競争的外部資金を獲得し、他大学、公設研究機関、民間企業などを交えた共同研究プロジェクトに発展しているものも多い。例えば、マイクロ波・微生物複合系を利用した木質バイオマスからのエタノール生産のプロジェクトは、萌芽ミッションプロジェクトとして開始したが、平成 17 年度より NEDO の支援を得て研究開発を推進し、平成 20-23 年度には、連続式マイクロ波照射装置を組み込んだエタノール製造プラントを建設する予定である。

学際・融合的なミッション研究を推進するためには、研究者コミュニティの拡充や社会への啓蒙活動が広く求められる。このため、宇宙太陽発電とバイオマス変換の融合を目指した「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」を毎年開催するとともに、全学共通科目「生存圏の科学 太陽エネルギー変換・利用」や KSI サステナビリティ学コース「生存圏開発創成科学論」を開講し、社会や学生への教育・啓蒙活動にも努めている。

研究課題：

- 「マイクロ波・微生物複合系を利用した木質バイオマスからの機能性ポリマーの発酵生産」
- 「マイクロ波被加熱体を用いたバイオマス熱分解の高効率化を目指した萌芽研究」
- 「宇宙太陽発電での利用をめざした熱伝導自己制御型炭素系複合材料の開発とその評価」
- 「飛行船からの送電実験」
- 「マンガニンイオンによる白色腐朽菌リグニン分解系の up-regulation 機構の網羅的解析」

ミッション 3：宇宙環境・利用

ミッション 3 では宇宙環境の理解とその利用に向けて基礎研究から関連技術開発まで幅広く研究を進めている。新しい宇宙空間飛行技術として、高速のプラズマ流である太陽風のエネルギーを、宇宙機の周囲に人工的に生成した磁気圏によって受け止め、推進力に変換する磁気セイル宇宙機に関して、磁場発生に用いる超伝導コイルの設計を行い、超伝導特性の推進力に与える影響を評価した。また、科学観測や宇宙利用の自由度を飛躍的に増加させるために、複数の人工衛星を積極的に帯電させることにより、クーロン力により相互の位置を制御する新しい概念を取り扱い、デバイ長の影響を考慮したクーロン力調整による相対位置制御の手法を構築した。宇宙圏電磁環境モニターシステムの開発として、システムを構成するセンサーノードにおけるアナログ回路の小型化に向けたアナログ ASIC の開発を引き続き行った。宇宙圏電磁環境におけるプラズマ波動・粒子相互作用を直接観測するために「プラズマ波動・粒子相互作用観測器」を設計し、そこで必要となる波形較正などのデジタル処理を FPGA(Field Programmable

Gate Array)内に実現、ワンチップ化することに成功した。これらの宇宙環境モニターの筐体部やアンテナに使用する目的で、導電軽量木質材料の開発と特性評価を行ってきた。三次元形状を保持した状態で炭素化することで宇宙用材料に要求される導電率、密度、電気シールド効果、強度を持つ中抜き球体を作成することが可能であることがわかった。

一方、計算機シミュレーションによる宇宙環境研究として、宇宙機とプラズマ環境との相互作用について研究を行っている。太陽パネル表面は誘電体であるガラスで覆われており、金属である衛星本体との帯電差（部分帯電）が生じる。この帯電緩和のために、電子を低エネルギー（熱速度）でかつ高密度で放出することにより衛星電位をプラズマ電位にまで引き上げられることがわかった。また、誘電体面の近くには、プラズマ放出装置を設置するのが望ましいことがわかった。宇宙機搭載イオンエンジンのイオンビーム中和には放出電子が用いられるが、ビームの中和状況がイオンエンジンの耐久評価に大きく影響する。3次元粒子シミュレーションの結果から、イオンビーム外周における電子についてはその温度がイオンビーム内の電子温度より高くなるという結果を得られた。1次元電子ハイブリッドシミュレーションにより磁気赤道付近で発生しているホイッスラーモード・コーラス放射を計算機シミュレーションで再現し、新しい非線形成長理論の構築に成功した。放射線帯電子の加速機構としてコーラス放射による加速が注目されている。昨年度に発見した相対論的加速過程（RTA）に加えて、さらに高いエネルギーでの加速過程（URA）が存在することを発見し、コーラス放射により放射線帯電子フラックスが形成される過程を示した。

研究課題：

- 「太陽風エネルギーを利用した磁気セイル宇宙機に関する研究」
- 「クーロン力を用いた複数の人工衛星の編隊飛行に関する研究」
- 「宇宙圏電磁環境モニターシステムの開発」
- 「プラズマ波動－粒子相互作用観測器の開発」
- 「導電軽量木質材料の開発と特性評価」
- 「3次元粒子シミュレーションによる極域衛星帯電の能動的緩和に関する研究」
- 「イオンエンジンにおけるビーム中和電子粒子解析」
- 「ホイッスラーモード・コーラス放射の発生機構の研究」
- 「放射線帯電子の加速機構の研究」

ミッション 4：循環型資料・材料開発

自然素材活用型実験住宅における床下工法と微生物相の変化プロジェクトでは、低環境負荷・資源循環型木造エコ住宅において、ベタ基礎工法と土壌あらし工法による2種類の床下を設定し、床下空間浮遊菌、土台付着菌、地表菌という3つのカテゴリーの菌類について定期的にサンプリングを実施して、異なる床下工法における床下菌類相の違いについて検討した。現在までのところ、すべての試料において土壌あらし工法の場合に生育したカビ類コロニー数が有意に多くなり、担子菌類についても同様であった。

未利用バイオマス資源からのナノファイバー製造プロジェクトでは、サトウキビやキャッサバからのバイオエタノール製造プロセスにおいて排出される粗繊維(Crude fibers)、砂糖ダイコンからのショ糖抽出プロセスにおいて排出される粗繊維やキャッサバからのデンプン抽出プロセスにおいて排出される粗繊維について、デンプンやリグニン、ヘミセルロースを取り除く前処理を行うことで、いずれからも、グライNDER処理で簡単に均一なナノファイバーを製造できることが明らかになった。いずれのバイオマス資源も、ナノファイバー資源として有望である。

歴史的建造物構成部材の樹種に関するデータベースの構築プロジェクトでは、美術院（京都国立博物館）、奈良国立博物館、八代市博物館、関西外国語大学、京都市文化財保護課、建築研究協会を通して金閣寺、西本願寺、和田岬灯台などの主に歴史的建造物、木彫像、木製品を中心に樹種識別を行った。また新しい観察方法としてX線トモグラフィーの検討を始めた。

人間生活圏を拡大する Energy Harvesting 技術に関する研究プロジェクトでは、電磁波エネルギーに注目した Energy Harvesting 技術、さらに進んで電磁波エネルギーそのものを作り出す技術の研究を行ってきた。本研究では災害時の Energy Harvesting のシステムとして飛行船からの電力でのシステムを提案し、そのシステムの一部を開発した。本飛行船実験は 20 年度春に実施予定である。

北山丸太を用いた耐力壁の開発プロジェクトでは、北山丸太を、雇い実を介して列柱上に並べた耐力壁を開発した。雇い実の部分に H 型の面内剛性補強金物を用いることで、北山丸太特有の意匠性能を損なうことなく、剛性と耐力の向上を図ることが出来た。今回開発した耐力壁は壁倍率換算で約 1.0 を発揮するものであった。

資源循環型木質系材料及び天然系接着剤の開発プロジェクトでは、キトサン接着での性能向上を目指し、キトサンの分子量やグルコースの添加量を変化させてフィルム特性を明らかにするとともに、接着性能についても検討し、最適条件を見出した。

廃棄 CCA 木材の無害化処理の深化とリサイクル性の創造プロジェクトでは、希硫酸を用いた前抽出によって CCA のほとんど全てを溶出させ、その溶出液から、ザンセート試薬および水素化された酸化マンガンを使うことで銅、クロム、ヒ素を分離する方法を提案した。また、廃木材の経済的なリサイクルのための応用例としてマクロポーラス・カーボンを試作した。

Development of a novel biostable/biodegradable biomimetic composites based on bacterial cellulose プロジェクトでは、再生医科学研究所と共同研究を実施した。すなわちバクテリアペリクルの微粉碎試料を出発材料として、ポアサイズを制御した膜素材を調製する方法を見いだした。さらに、バイオコンパティビリティについて検討したところ、これをモレキュラスカフォールド（分子足場）として利用できる道が拓けた。

研究課題：

「自然素材活用型実験住宅における床下工法と微生物相の変化」

「未利用バイオマス資源からのナノファイバー製造」

「歴史的建造物構成部材の樹種に関するデータベースの構築」

「人間生活圏を拡大する Energy Harvesting 技術に関する研究」

「北山丸太を用いた耐力壁の開発」

「資源循環型木質系材料及び天然系接着剤の開発」

「廃棄 CCA 木材の無害化処理の深化とリサイクル性の創造」

「Development of a novel biostable/biodegradable biomimetic composites based on bacterial cellulose」

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－熱帯人工林の環境貢献とその持続的生産・利用－

日射量の豊富な熱帯地域における持続的な大規模産業造林は、持続的、循環的な木材資源の生産基盤として、我が国の資源確保や地元住民の経済活動、福祉に大きく貢献している。その一方で、単一樹種の連続的かつ土地集約的な植林に伴う「生産の問題」、土壌栄養分の短期収奪に関する「持続性の問題」、地域住民の生活保証や経済振興といった「社会問題」、木質資源の効率的な材料変換やエネルギー変換に関わる「利用の問題」など生存圏全体に関わる、様々な課題が存在している。この様なことから、生存圏研究所発足と共に、国内外の研究機関と連携して、スマトラ島のアカシアマンギウム植林地（19 万ヘクタール、

大阪府面積に相当)において、大気圏・森林圏・人間生活圏の物質循環の精測を行い、それに基づき、地域の環境を損ねることなく木材生産の持続性と循環性を保証する方策を考えることを目的とした統合的・融合的研究を開始した。

H19年度は、アカシア産業造林を経営する Musi Hutan Persada、インドネシア科学院バイオサイエンス部と生存圏研究所との3者間MOUを延長した。これに基づき、アカシア産業造林地および周囲の天然林に設置した4台の観測器(Acacia Center, Air Kemang, Tanjung, Lontar)、防災研究所と共同で設置した3箇所(Niru, Merbau, Matrapura)の雨量計で気象観測をおこない、これらの観測データをMHP社の職員の協力のもと、1ヶ月に1回の回収・転送を行い、解析を進めている。インドネシア科学院とは、組換えファルカータを作出するとともに、アカシアの形質転換に関する新技術を開発した。

また、MHP社から提供された土壌状況、植林状況等に関する情報と現地調査に基づき、アカシア生長量評価を行い、産業造林地における炭素循環を推測し炭素フロー図として示した。同時に、衛星情報による大規模造林の時系列解析のために、衛星情報の解析を進めている。さらに、アカシア造林値および周辺の二次林における鳥類の多様性に関する現地調査および解析を行い、生態学的観点からのアカシア産業造林地持続性に関する研究を推進した。

一方、生命科学の観点から、アカシアハイブリッドの育種(越井木材との共同研究)やアカシアマンギウム木部のESTデータベース構築に関する研究を進めた。また、材料科学の立場より、アカシア材から木質系材料を製造するための天然系澱着剤の開発を行った。

さらに、今年度から生存圏研究所が東南アジア研究所などの地域研究研究者や社会科学研究者と連携して開始したG-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、アカシアプロジェクトと連携したイニシアティブ3:様々な熱帯人工林の環境貢献とその持続的生産・利用が立ち上がった。

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/tenken2007.pdf> にて公開されている。以下は平成 19 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 19 年度自己点検評価報告書目次

序

1. 研究所の理念	
1.1 研究所の理念	1
1.2 研究所の目標	1
2. 研究活動	
2.1 研究組織	3
2.2 研究内容	6
2.2.1 各分野の研究概要	6
2.2.2 全国共同利用研究	9
2.2.3 生存圏萌芽ミッションプロジェクト	35
2.2.4 生存圏ミッションプロジェクト	46
2.2.5 21世紀COEプログラム	58
2.2.6 研究ユニット等との連携	60
2.3 研究業績	63
2.4 招待講演など	94
3. 教育活動	
3.1 大学院・学部における教育目標	139
3.2 教育内容(特論など)	140
3.3 教育活動の成果	141
4. 教員組織	
4.1 人員配置	145
4.2 採用	145
4.3 人事交流	146
5. 管理運営	
5.1 研究所の意思決定	149
5.2 研究所の組織	165
6. 財政	
6.1 予算	171
6.2 学外資金	171
7. 施設・設備	
7.1 施設設備の維持管理	173

8. 学術情報	
8.1 研究所の方針と組織	179
8.2 生存圏データベース	179
8.3 図書管理	181
8.4 京都大学統合情報通信システム (KUINS) との関係	182
9. 国際学術交流	
9.1 国際学術協定 (Memorandum of Understanding: MOU 協定)	183
9.2 国際会議・国際学校	184
9.3 研究者の招へい	186
9.4 国際共同利用	187
10. 社会との連携	
10.1 研究所の広報・啓蒙活動	189
10.2 民間等との共同研究・受託研究	202
10.3 教員の学外活動	205
11. 評価	215