

筑波大学 環境報告書 2012年

University of Tsukuba
Environmental report 2012

筑波大学環境報告書 2012年

編集・発行 筑波大学 環境安全管理室
発行日 2012年9月
表紙デザイン 霍 達
木村 浩



Contents

● 学長挨拶	2
● 筑波大学環境方針	3

筑波大学概要 4

● 筑波大学の安全衛生への取り組み	8
-------------------	---

研究・教育活動と社会貢献 10

● 福島第一原発による放射性物質の環境汚染の実態を調べる	10
● 次世代環境エネルギー技術の開発にむけて ～藻類エネルギー研究開発の進展～	13
● 次世代エネルギーシステム開発の取り組み	25
● バイオ燃料の地産地消システム	30
● つくばエコシティ推進グループの取り組み	35
● 井守も棲める谷津田・里山の復元と維持管理ネットワークの構築	37
● 環境と調和した循環型社会経済システムを目指して	40
● スポーツを通じた環境コミュニケーション	44
● 農林技術センターにおける環境問題の取り組みと社会貢献活動	48
● 学生団体 筑波大学環境コミュニケーションラボの活動	50
● 3Ecafe プロジェクトチームの活動	52
● 附属学校の活動状況	
● 社会科学習から学級総合へ、そして、ボランティア活動へ（筑波大学附属小学校の活動状況）	56
● 筑波大学附属視覚特別支援学校における環境教育の取り組み -小学部4年生の社会より-	58

東日本大震災復興・再生支援ネットワークによる取り組み 60

● 筑波大学東日本大震災復興・再生支援ネットワークによる取り組み	60
----------------------------------	----

環境負荷低減の取り組み 64

● 化学物質等排出量	64
● 温室効果ガス排出量削減対策	67
● 光熱水量	69
● 廃棄物等排出量及び低減対策	70
● グリーン購入・調達の状況	72
● アスベスト対策	73

まとめ 74

● 環境報告書ガイドライン 2007 との対照表	74
● 筑波キャンパスの周辺マップ	75

編集方針

「環境配慮促進法」に準拠し、環境省「環境報告ガイドライン 2007 版」を参考に、オリジナルな表紙のデザイン、環境教育や研究成果などの紹介記事を掲載するなど筑波大学らしさを表現する報告書を目指します。

報告期間

平成 23 年度：2011 年 4 月から 2012 年 3 月

この環境報告書は再生紙を使用しています。

学長挨拶



筑波大学長 山田 信博

筑波研究学園都市は、人と自然が調和した快適な都市の創造を目指して作られた街であり、都市の中央部に位置する本学も自然とバランスのとれた空間構成や良好な自然環境の長期的な保全をコンセプトにデザインされ、緑あふれる恵まれた自然環境の広大なキャンパスを有しています。

本学は、前身校である東京教育大学の筑波への移転を契機に、新しい構想に基づく総合大学として、1973年10月に創設されました。その歴史は1872年の師範学校の開学にさかのぼり、来年度は開学40周年を迎えます。本学はあらゆる面で「開かれた大学」となることを目指し、従来の観念に捉われない「柔軟な教育研究組織」と次代の求める「新しい大学の仕組み」を率先して実現することを基本理念として、我が国における大学改革を先導してきました。

本学では、いち早く1977年に環境科学研究科(修士課程)を創設し、2007年には生命環境科学研究科に改組し後期課程(博士課程)持続環境学専攻を加え環境問題にも積極的に取り組んできました。

今日、地球温暖化問題をはじめ、エネルギー資源、水資源、天然資源の枯渇や生物多様性の喪失等さまざまな地球環境問題が深刻化しています。また地球規模での人口増加や経済規模の拡大と人間活動の一層のグローバル化が進む中で、人類の生存基盤に関する課題が生じており、人間社会の持続性にも大きな影響が及ぶ可能性が指摘されています(環境報告ガイドライン(2007年版)2007年6月環境省より)。

このような中、2006年4月に閣議決定された「第三次環境基本計画」に、今後の環境政策の方向性が示され、環境報告書の作成と公表が求められるようになりました。本学も、2006年から、毎年環境報告書を作成、公表し、本学の環境問題に関する取り組みを社会に発信しております。同報告書の作成を機として、「筑波大学環境方針」を定め、また、2008年3月には、京都議定書の第1約束期間の初年度を迎え、「筑波大学における温室効果ガス排出抑制等のための実施計画・削減計画」を策定し、諸施策を継続して講じることによって、温室効果ガスの排出削減目標を毎年度達成してきました。

一方、筑波研究学園都市においては、本学、研究

機関、自治体などが連携して、「つくば3Eフォーラム」(3E:環境、エネルギー、経済)を組織しています。2011年11月には、その第5回会議が開催され、本学が中心となって作成し、市内小中学校にて実践を行った「次世代環境教育」についてなど、「つくば環境スタイル」と関連するこれまでの活動について発表がなされました。

つくば市では、他の地域のモデルとなる低炭素社会づくりを進めるために「つくば環境スタイル行動計画」が策定されており、本学もその実現に向けた「つくばエコシティ推進グループ」を設置し、取り組みを推進しています。取り組みの一つである「エコステーション」は、古紙、缶、ビン、ペットボトルなど、資源ゴミを分別収集し資源化の徹底を図るため、2010年度に運営を開始しました。当初、学内1か所に設置されましたが、学内のすべてのゴミ集積所を「ミニ・エコステーション」と見なすようシステムを改善し、より効率的な運営へと移行しました。2011年度1年間で、約317tの廃棄物が資源として売却され、廃棄物削減とリサイクル推進に貢献するとともに、廃棄物処理費用の削減が実現できました。売却益の一部は、運動部の器具を購入するなど、研究教育に役立てられました。また、資源の分別向上のために、課外活動団体へ協力を呼び掛けるなど、啓発活動も推進しています。

昨年、東日本大震災のために本学筑波キャンパスの多くの施設が被害を受けた結果、後期入学試験及び卒業式の中止や入学式の延期等の対応を行いました。昨年度は節電計画を実施し、2010年度比で大幅なエネルギー使用量削減を実現しました。その後、本学の大学機能も順調に回復し一歩一歩着実に新たな歩みを進め始めています。

被災地の復興支援や本学の復興に参加されている多くの教職員、学生には心から敬意を表します。また、大震災後の危機管理に関しては、基本計画を策定して、各種災害マニュアルについても大方準備が整ったところです。今後更に皆様のご意見を頂きながら、充実させていきたいと思っております。

本報告書を通じて、筑波大学における環境推進活動への取組について、皆様方のご理解をいただければ幸いです。

筑波大学環境方針

基本理念

1977年に環境科学研究科を設置するなど、いち早く自然と文明の調和に取り組み、多様な学問分野を持つ、総合大学である本学はその「建学の理念」に謳われている、『国内外の教育・研究機関及び社会との自由、かつ、緊密なる交流関係を深め、学際的な協力の実をあげながら、教育・研究を行い、もって創造的な知性と豊かな人間性を備えた人材を育成する』という内容を踏まえつつ、地球環境との調和と共生を図り、環境負荷の低減に努めます。

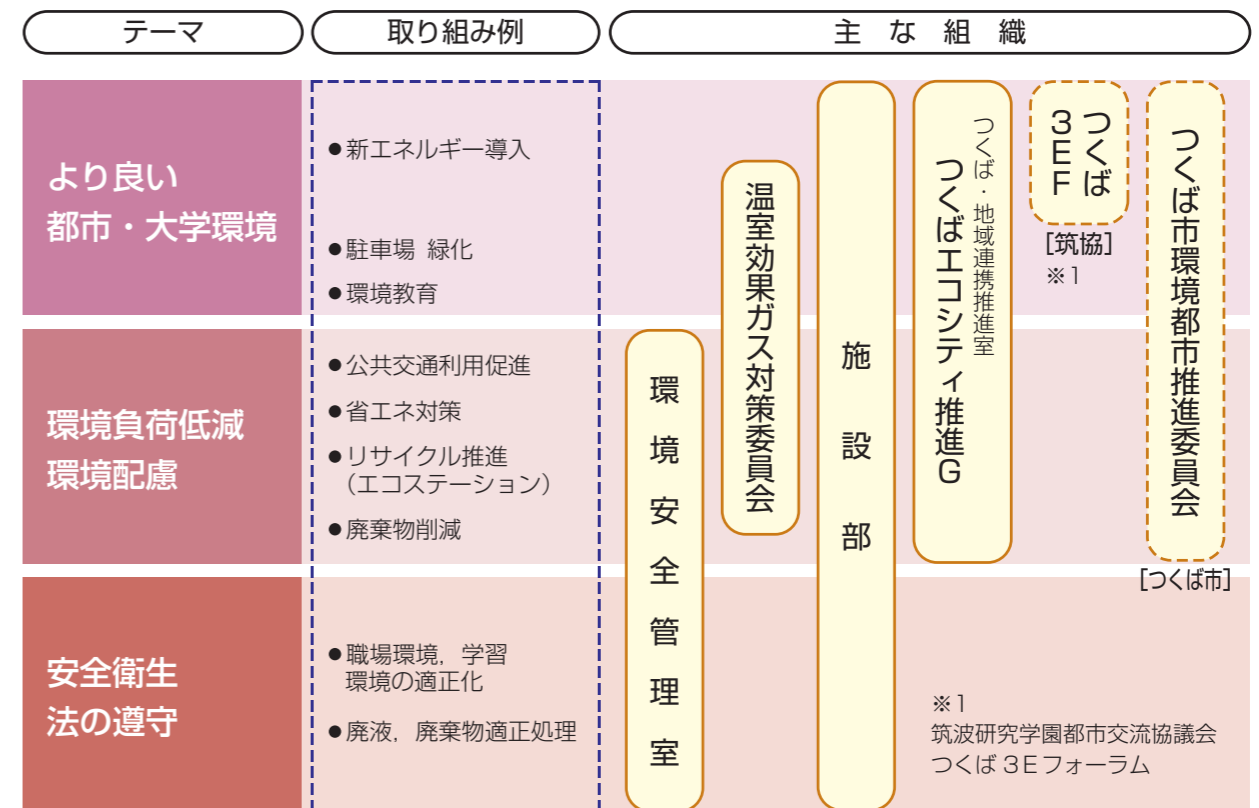
基本方針

1. 教育・研究活動を通じ、環境に配慮する心をもった人材を育成します。さらに、その教育・研究成果の普及啓発を図ることにより、広く社

会一般の環境保全・改善に対する取り組みに貢献します。

2. 環境マネジメントシステムを構築し、継続的改善を図ることにより、環境に配慮したキャンパスを実現し、環境負荷の低減と、環境汚染の予防に努めます。
3. 化学物質の安全管理、省エネルギー、省資源、リサイクル、グリーン購入等を含めた環境目的及び環境目標を設定し、これらの達成に努めます。
4. 環境関連法規、条例、協定を遵守するとともに、自主的な環境保全活動に努めます。

この基本方針は文書化し、本学の教職員・学生及び、本学にかかわる人々に周知するとともに、文書やインターネットのホームページを用いて一般の人にも開示します。



筑波大学概要

1 建学の理念

筑波大学は、基礎及び応用諸科学について、国内外の教育・研究機関及び社会との自由、かつ、緊密なる交流連携を深め、学際的な協力の実をあげながら、教育・研究を行い、もって創造的な知性と豊かな人間性を備えた人材を育成するとともに、学術文化の進展に寄与することを目的としています。

従来の大学は、ややもすれば狭い専門領域に閉じこもり、教育・研究の両面にわたって停滞し、固定化を招き、現実の社会からも遊離しがちでした。本学は、この点を反省し、あらゆる意味において、国内的にも国際的にも開かれた大学であることを基本的性格としています。

そのために本学は、変動する現代社会に不断に対応しつつ、国際性豊かにして、かつ、多様性と柔軟性を持つた新しい教育・研究の機能及び運営の組織を開発しています。更に、これらの諸活動を実施する責任ある管理体制を確立することとしています。



筑波キャンパス

2 沿革

本学は、東京教育大学の移転を契機に、そのよき伝統と特色を生かしながらも、大学に対する内外からのいろいろな要請にこたえるため、わが国ではじめて抜本的な大学改革を行い、1973年（昭和48年）10月に「開かれた大学」「教育と研究の新しい仕組み」「新しい大学自治」を特色とした総合大学として発足しました。本学は大学改革の先導的役割を果たしつつ、教育研究の高度化、大学の個性化、大学運営の活性化など、活力に富み、国際競争力のある大学づくりを推進しています。

- 1872年 ● 師範学校
- 1886年 ● 高等師範学校
- 1929年 ● 東京文理科大学
- 1949年 ● 東京教育大学
- 1973年 ● 筑波大学
- 2002年 ● 図書館情報大学と統合(10月)
- 2004年 ● 国立大学法人筑波大学

3 教育研究組織

(1) 大学院

大学院には修士課程、博士課程及び専門職学位課程があります。修士課程では、高度専門職業人の養成又は社会人の再教育を目的として、通常の専門分野の区分にとられない学際的な教育を行い、博士課程では、専門的分野における研究者の養成又は研究型高度専門職業人の養成を目的として、幅広い知識を基盤とした高い専門性を涵養する高度な教育を行い、専門職学位課程では、高度専門的な職業能力を有する人材の養成に特化した実践的な教育を行っています。

博士課程には、前期及び後期の区分を設けず、5年一貫教育を行う研究科(医学を履修する課程にあっては4年)、前期及び後期の課程に区分する研究科があり、さらに後期の課程のみの専攻を併せ持つ研究科があります。

また、筑波大学では、社会人再教育のための夜間大学院・昼夜開講制の実施、短期在学コース・長期履修学生制度など標準修業年限の弾力化、筑波研究学園都市等の研究機関の施設・設備や人的資源を活用して行う連携大学院方式の実施など教育方法・形態の多様化を図っています。



総合研究棟D

7 研究科 (博士課程)	人文社会科学 (修士 86、博士 37、5年一貫制 38)、ビジネス科学 (修士 60、博士 23、専門職学位 66)、数理物質科学 (修士 240、博士 111)、システム情報工学 (修士 391、博士 106)、生命環境科学 (修士 278、博士 138、5年一貫制 21)、人間総合科学 (修士 398、博士 (医学) 62、博士 122)、図書館情報メディア (修士 37、博士 21)
1 研究科 (修士課程)	教育 (修士 125)

研究科の () は入学定員 (単位人)

(2) 学群・学類

学群は、教育上の目的に応じて組織され、学部段階の学生の教育指導について包括的な責任を持つ組織であり、学類は、学群に属し、学生の教育指導について基礎的な責任を持つ組織です。

学群・学類は、

- a) 専門分野を異にする教員及び学生との接触を通じて、広い視野を養い、豊かな人間形成に資するよう配慮する。
- b) 既存の学問の体系に必ずしもとらわれることなく、教育上の観点から将来の発展の基礎を培うことができるようにする。

こと等を編成方針としています。

なお、体育と芸術の各専門学群にあっては、学類を設けず、学群がその役割を兼ねて行っています。



汐留シオサイト工事現場見学

9 学 群	人文・文化学群 (240)、社会・国際学群 (160)、人間学群 (120)、生命環境学群 (250)、理工学群 (520)、情報学群 (230)、医学群 (215)、体育専門学群 (240)、芸術専門学群 (100)
-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

学群の () は入学定員 (単位人)

◆ 学生数 (平成 23 年 5 月 1 日現在)

学 群 学 生	入学定員：2,075 人 在 学 生：9,954 人 (うち外国人留学生 169 人)
大学院学生	入学定員：2,360 人 (修士 1,615 人、博士 679 人、専門職学位課程 66 人) 在 学 生：6,843 人 (うち外国人留学生 1,190 人)

◆ 役員・職員数 (平成 23 年 4 月 1 日現在)

	学長	理事	監事	専任の 部局長 等	教授	准教授	講師	助教	助手	特任 助教	附属 学校 教員	研究員 等	病院 医師	計	事務職員 等	合 計
合計	1	8	2	10	620	563	332	226	1	36	518	113	45	2,475	1,970	4,445

(3) 系

筑波大学では、教育・研究・運営の全般にわたって一層の機能強化を図るために教育研究体制の改革を進め、本学独自の新たな教員組織として「系」を設置し、平成 24 年 4 月から全面的に新たな教育研究体制に移行しました。

すべての教員は原則としていずれかの「系」に所属します。

【10系】

4 共同利用・共同研究施設等

共同利用・共同研究施設等では、全国規模で人的交流、情報交換及び共同研究を行い、関係分野における全国の研究者に対し研究拠点機能を提供しています。

また、大学院教育についても、関連研究機関との協力体制により、専門的知識・技能を有する研究者・高度職業人の育成の一翼を担っています。

一方、学内共同教育研究施設では、教育・研究活動に必要な大型ないし特殊な施設・設備の共同利用、あるいは教職員、学生等に対する各種の教育・研究上のサービスの提供などを効率的に推進するための機能を提供しています。

◆ 共同利用・共同研究施設

【4 施設：計算科学研究センター、下田臨海実験センター、遺伝子実験センター、プラズマ研究センター】

◆ 学内共同教育研究施設

【平成 23 年度：26 施設】



環境防災研究棟



サイバニクス研究棟

5 附属図書館

筑波大学附属図書館は、開かれた大学図書館として地域社会及び国内外の研究・教育機関と連携し、学術情報の中枢拠点として機能することを目標に活動を続けています。

附属図書館は、中央図書館と体育・芸術、医学、図書館情報学、大塚図書館の 4 つの専門図書館とが一元的な管理体制のもとに運営され、資料の集中管理と全面開架方式を採用し、土・日・祝日の開館、充実したレファレンスサービスをはじめ様々なサービスを行っています。

今後も充実した資料の収集とサービスの拡充に努め「来館したくなる図書館」、「頼られる図書館」を目指して継続的なサービス改善を図っていきたくと考えています。

また、広く学外の利用者にも開放し、館内利用や図書の貸出などを行っています。受験生やPTA等の見学にも随時対応しています。さらに図書館ボランティアを導入し、総合案内、対面朗読、外国語による案内なども行うとともに、企画展示を開催し、貴重書を地域に公開しています。



健康医科学イノベーション棟

【蔵書数：約 255 万冊】
(平成 23 年 3 月 31 日現在)

6 附属病院

「患者さまの権利の尊重、プライバシーの保護など患者さま中心の診療に努めるとともに、地域に開かれた大学附属病院としての役割を十分に認識し、最高水準の医療を提供すること、さらに、先進的な臨床教育と研究の場を提供することにより社会的使命を果たすことを目指します。」を筑波大学附属病院の理念として掲げ、患者さまの希望に合った医療サービスの提供に取組むと共に、特定機能病院として高度医療の提供、高度医療に関する開発・評価及び研修を行っています。また、卒後初期の幅広い研修を基にして、すぐれた臨床能力を備えた医師を養成することを目標に、定員制・6年間有期限のレジデント制を導入しており、専任教員のもと、体系的な質の高い研修環境を提供しています。【35 診療グループ、病床数：800】

附属病院再開発計画：附属病院では、平成 24 年 9 月にけやき棟（新病棟）の竣工（平成 24 年 12 月末供用開始）を予定しております。開院以来県内唯一の大学附属病院・特定機能病院として、また、地域における中核的病院としての機能を発揮することにより社会的責務を果たしてきたところではありますが、新病院では、さらなる機能を永続的に発揮していくため「明日の医療・医学を創る力に」をコンセプトに高度先進・急性期医療に特化しつつ、地域全体としての理想的な医療環境を形成し、その持続発展的な仕組みを創造する拠点としての教育・研究病院を作ることとしております。



けやき棟外観イメージ

7 附属学校教育局・附属学校

附属学校教育局は、幼児、児童、生徒の教育・保育に関する実際的研究のほか、計 11 校の附属学校の運営に関する総括、管理を行っています。

附属学校は、明治初期に開設された師範学校以来の長い伝統と歴史を持っており、東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県にあります。

附属小学校、附属中学校、附属駒場中学校、附属高等学校、附属駒場高等学校、附属坂戸高等学校、附属視覚特別支援学校、附属聴覚特別支援学校、附属大塚特別支援学校、附属桐が丘特別支援学校、附属久里浜特別支援学校

【合計 11 校】

8 学生宿舎

学生宿舎は、学生に良好な勉学の環境を提供し、自律的な市民生活を体験させることを目的として設置されています。宿舎の各居室には、ベッド、机、イス、洗面台などが備え付けられています。宿舎各棟には、それぞれの共同利用の洗濯室、補食室、トイレなどが併設されています。

宿舎の各地区（春日地区を除く）の共用棟には、管理事務室、食堂、浴場、売店、理・美容室など日常生活に必要な施設が設けられています。

【入居者数：2,835 人；個室 3,524 室、2 人部屋 153 室、世帯室 250 室】
(平成 23 年 4 月 1 日現在)



追越学生宿舎リニューアル棟

筑波大学の安全衛生への取り組み

環境安全管理室長 野本 信也



野本 信也

1 安全衛生管理体制と取り組みの概要

本学では、職員の執務環境と安全、衛生を確保するために、国立大学法人筑波大学職員の安全衛生管理規則を設けて、労働安全衛生法（安衛法）に沿った安全衛生管理を行っています。本学には、本部事業場や附属学校などの多くの事業場がありますが、所属する職員の数に応じて、総括安全衛生管理者または事業場の長が安全衛生管理を統括しています。

安全衛生に関する全学的な基本方針や重要事項は、環境・安全衛生管理委員会で話し合われます。大学は様々なリスクレベルの組織から成り立っていますので、安全衛生管理を専門に取り扱う組織が必要です。このために筑波大学では環境安全管理室を設置して、関係組織との緊密な連携を確保しつつ、本学における全ての人的・物的被害を未然に防止し、良好な作業環境を保持する業務を行っています。

産業医や衛生管理者は、定期的に大学の職場を巡視して、安全衛生面で問題が無いかを常に点検しています。安衛法の規定に従って設置された安全衛生委員会では、大学のあらゆる職場で安全と衛生が確保されているかどうかの点検が行われ、問題点の対

策が審議されます。

安衛法は労働者の安全と健康を守るための膨大な法体系ですが、その中で安全衛生管理の手法として、作業環境管理、作業管理そして健康管理の3管理が述べられています。作業環境管理とは、作業環境中の有害因子を把握して、主として設備面でできるだけ良い環境を作る管理です。作業管理では、作業条件や作業方法を適切に管理して、労働者の疲労や有害要因の発散と暴露を防止します。健康管理では、安衛法に基づいた健康診断を実施することで労働者の健康の異常を早期に発見し、健全な状態を保つための管理を行います。この3管理を効果的に維持するためには、職場巡視による情報の収集が重要です。また3管理に関わる内容を教育することも安全衛生管理を行う上で欠かすことはできません。労働衛生の3管理と労働衛生教育、そして巡視により得た情報などを一体化して管理を行うことは総括管理と呼ばれます。本学では、3管理と労働衛生教育、総括管理を合わせた5管理について、さまざまな角度から取り組んでいます。

2 作業環境管理の取り組み

産業医と衛生管理者は、本学の職場を巡視して作業環境に問題点が無いか点検しています。指摘事項があれば、必要な措置を講じています。

安衛法の定める有機溶剤や特定化学物質を使用する作業場に対しては、作業環境測定を年2回実施して、作業環境管理の良否を判断しています。最も悪い評価である第3管理区分と判定された作業場については、直ちに法に従った措置を講じています。また第2管理区分の作業場についても、改善指導を実施しています。

有害蒸気の発散の恐れのある作業場では、局所排気装置が正常に稼働している必要があります。本学では、局所排気装置等定期自主検査インストラクターを2名養成して、定期自主検査者養成講習会を実施しています。本年度の講習会は、23名の参加があり、平成18年度からの累計で119名の自主検査者を養成しました。講習会の修了者は、各職場で有害作業者の命綱であるドラフトの維持管理を行うことで作業環境管理に貢献しています。

日本の大学では、有害作業場のドラフトが不足気

味です。これを受けて上述の講習会では、卓上簡易局所排気装置用囲い式フードの製作と性能検定の実習も行いました。この講習によって、参加者が職場において有害作業場所の衛生工学的改善を自主的に実施することが可能になりました。



局所排気装置等定期自主検査者養成講習会の様子

3 作業管理の取り組み

作業環境管理が十分に機能している作業場においても、作業管理が不適切である場合には、事故や健康障害が起る可能性があります。職場巡視において、作業の形態の聞き取り調査を行い、改善の必要がある作業については、より有害性の少ない作業方法の指導を行っています。

作業管理は、作業者自身が行える安全衛生管理であることから、下の5節で述べる安全衛生教育においても作業管理の重要性と方法について十分な教育を行っています。

4 健康管理の取り組み

本学の保健管理センターでは、安衛法の定めに従い、年1回の定期健康診断の他、有害作業者に対する特定業務健康診断を年2回実施しています。これらの結果に基づき、必要な場合には保健指導を行っています。

5 安全衛生教育の取り組み

大学では、教職員の他に学生が所属しているために、安全衛生教育を常に実施する必要があります。特に化学物質を取り扱う分野は、大学の中で事故や

健康障害の起るリスクの高い作業場を持っています。本学では、化学物質の適切な取扱いができるようになるために以下の講義を開講しています。

総合科目「安全衛生と化学物質」

大学院共通科目「化学物質の安全衛生管理」

これらの講義は本学独自のものであり、化学物質取扱作業での危険の存在を知り、それを避ける方法を学んでもらっています。

この他、危険・有害作業場を持つ部局では、組織ごとの安全講習会などを開催しています。安全衛生担当者のための講習会も定期的を実施しています。

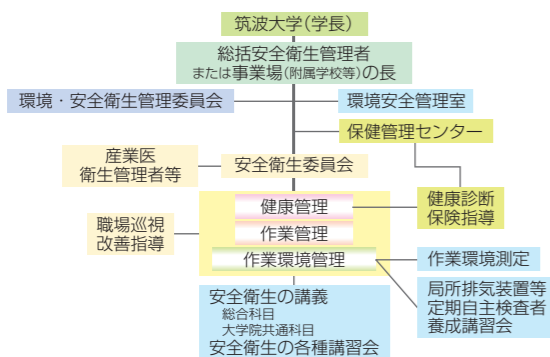
本学では、講義や講習会、職場の改善指導などで使用する教材の作成も積極的に行っています。それらには、冊子態、ウェブ資料の他、ビデオ教材などが含まれますが、全て完全に自作可能な態勢で製作しています。



総合科目「安全衛生と化学物質」の様子

6 総括管理の取り組み

総括管理には、職場巡視による情報収集の他に、過重労働対策も含まれます。本学では、安衛法の規定により長時間にわたる労働により疲労の蓄積した職員に面接指導を行う体制が整っています。この指導では、ストレスが関係する精神疾患等の予防のために、メンタルヘルス面にも配慮しています。必要に応じて、保健指導、生活指導や医療受診指導などの措置を行っています。



筑波大学の安全衛生組織と取り組み

福島第一原発による放射性物質の環境汚染の実態を調べる

アイソトープ総合センター 准教授 末木 啓介



末木 啓介

1 はじめに

平成 23 年 3 月 11 日（金）14 時 46 分の東北地方太平洋沖地震に始まる東日本大震災の中で、東京電力福島第一原子力発電所の稼働中の複数の原子炉の冷却停止事故は、原子炉内で生成していた放射性核種を大気及び海水中に放出するという、日本における過去最大の放射性物質汚染を引き起こしました。何度か大気中に放出された放射性核種は放射性プルームを形成しながら風で流されて福島県だけではなく東日本広域にわたって広範囲に広がり、特に降雨にあうことで地表面に大きな沈着を起こしました。この放射性核種を含む物質による環境への汚染は、地域住民にとって、放射線による外部被曝、内部被曝として重大な社会的問題となっています。

2 アイソトープ総合センター

この東電福島第一原発を起因とする放射性物質による汚染事故に対してアイソトープ総合センター（平成 23 年 3 月時は前大塩寛紀センター長。4 月以降は松本宏センター長）では、教職員によって様々な放射線測定活動を行ってきました。当センターは施設内で放射性同位元素を用いた研究を行うための管理区域を設定しており、施設内外の放射線線量、施設内の放射性同位元素による汚染および管理区域外への放射性同位元素などの排気・排水などを通しての拡散を常に監視するための測定を行ってきました。当センターも地震直後からの混乱の中での全域停電に対して、建物内の安全を確保する措置

を行って週末を迎えていました。この間に福島第一原発でも全ての電源を喪失して地震によって緊急停止していた原子炉の冷却機能を失って何かが起こり始めていました。報道によってもたらされたことは 3 月 12 日（土）15 時 36 分に 1 号機において爆発にともなって原子炉建屋が崩落したこと、3 月 14 日（月）に 11 時過ぎには 3 号機でも爆発が起こり、同様に原子炉建屋が崩壊しています。2 号機でも压力容器内の圧力が高まり 3 月 15 日（火）6 時 14 分に爆発音が起こっています。その後も外部からの冷却活動などが行われていたが実際にどのようにしてどのくらいの量の放射性物質が放出されたのかはよく分かっていません。またどのように拡散していったのかも明らかにされていません。このような中で学内における放射線線量、放射性物質汚染の実態を独自に測定するため、3 月 14 日（月）に大学内での基幹設備の復旧活動の中で当センターも復電を果たしました。12 時から建物外のモニタリングポスト（写真 1）に設置されている 3 台のガンマ線エリアモニターで空間線量率の変化を連続的に測



写真 1 アイソトープ総合センター敷地内に設置されたモニタリングポスト。先端部分に NaI (TI) シンチレーション検出器が内蔵されていて周辺のガンマ線による放射線量率を測定している。

定しました。また、3 月 15 日（火）10 時ごろからはいつも施設内の放射性核種の空气中濃度測定を行なっているローボリュームのエアサンプラー（写真 2）を用いて建物の外でダストを捕集して空气中の放射性物質の測定も行ないました。エリアモニターについては現在も継続して大学の HP (<http://www.tsukuba.ac.jp/disaster0311/isotope.html>) で報告されています。図 1 は 3 月中の当センターの建物外の管理区域境界での線量率変化を示しています。設置されている 3 か所の結果の



写真 2 ローボリュームのエアサンプラーとダストを捕集する 2 種類のフィルター。

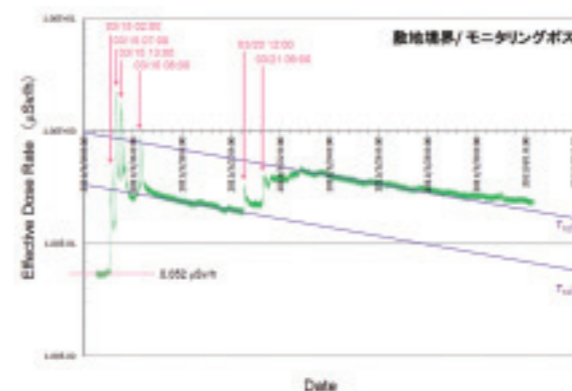


図 1 アイソトープ総合センター敷地内の 3 ヶ所のモニタリングポストの放射線量率の平均値（3 月 14 日 12 時から 3 月 31 日 24 時まで）。

平均を示したもので縦軸の線量率変化を対数で示して線量率の大きな変化が分かるように示してものがあります。筑波大学においては 3 月 15 日の未明から何度となく放射線量率の上昇と降下が観測されており放射性プルームの通過が観測されていますが、3 月 21 日に上昇したのちは降下がゆっくりとなってモニタリングポスト周辺に放射性物質が沈着してしまったことが明らかになりました。この沈着によって半減期が 2 年と 30 年の放射性核種 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs は地表面などに付着して放射線を放出し続けています。エアサンプラーでの捕集は 7 月一杯継続して行われましたが、5 月始めにはほとんど検出されないレベルまで下がっていました。この方法は空气中のダストと一緒に放射性物質を空气中の濃度として求めることができます。今回は捕集に用いたフィルターを Ge 半導体検出器装置（写真 3）によってガンマ線測定を行いました。この検出器は



写真 3 ガンマ線測定装置。Ge 半導体検出器と MCA。

ガンマ線のエネルギーを非常に高分解能で測定することができるため、ガンマ線放出する放射性核種ごとの濃度を求めることができます。3 月 15 日には ^{132}Te 、 ^{131}I 、 ^{132}I (^{132}Te の子核種で常に放射平衡にあると考えられる)、 ^{133}Xe 、 ^{134}Cs 、 ^{136}Cs と ^{137}Cs の主に 7 つの放射性核種を観測しました。 ^{132}Te は 3.2 日、 ^{131}I は 8.0 日の半減期であり、これらの核種を観測することができた事実は大学に飛来した放射性物質は最近まで核分裂過程により生成されてい

次世代環境エネルギー技術の開発にむけて ～藻類エネルギー研究開発の進展～

生命環境系 教授 渡邊 信

たものであり、福島第一原発で稼働していた原子炉内から放出されたことが明らかであります。当センターでは大学内の宿舍および病院で用いられている上水道の水の放射能測定と農林技術センターなどの農業生産物などの放射能測定も行い、大学内での安全管理にも寄与しました。

3 学内におけるその他の活動

宇宙線によって生成し、また過去の核実験、核施設から生成し放出された長寿命放射性核種の³⁶Cl、¹²⁹Iを加速器質量分析法(AMS)を用いて環境中での分布などを調べていたAMSグループ(数理物質系 末木啓介准教授・笹公和准教授)では、文部科学省によって行われた「放射線量等分布マップ」の作成に先駆けて、どのくらいの放射性物質が地表面に沈着しているのかを調べることを目的にして、3月終わりから5月にかけて福島県、茨城県、栃木県東部、千葉県北西部の表層土壌試料の採取を行ないました。(写真4)採取された試料は均一化してGe半導体検出器を用いてガンマ線測定を行いました。¹³¹I、¹³⁴Cs、¹³⁶Cs、¹³⁷Csおよび^{129m}Teについて広域の沈着量分布を調べることができました。



写真4 3月30日茨城県北部でのサンプリングの状況。

放射性核種は元素ごとに異なる沈着分布が示されていて原子炉からの放出および大気中の移行に元素に

よる違いがあることが明らかになりました。この成果は米国科学アカデミー紀要(N. Kinoshita et al., *PNAS* 2011 108(49) 19526-19529)に掲載されました。

文科省の「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究」の一つ「福島陸域・水域モニタリング大学連合チーム(FMWSE)」の活動の中心を筑波大学の生命環境系恩田裕一教授が担っています。チェルノブリ原発事故等の経験から、地表面に降り積もった放射性物質は、その後、土壌や河川等の自然環境を通じて移行することが確認されています。したがって、沈着後の放射性物質の蓄積量の変化を予測するためには、森林、土壌、地下水、河川水における放射性物質の移行状況、及び樹木や土壌からの巻き上げ状況等による放射性物質の移行状況の確認が必要であります。これまで森林、土壌、地下水、河川を通じた包括的な移行調査は行われていませんでした。そこで、本調査研究を通して包括的に調査の実施をし、土壌や河川等の自然環境を通じた放射性物質の移行状況について確認しています。また、福島由来の放射性セシウムの土壌中での挙動も明らかにしています。(Kato, H., et al., *J. Environmental Radioactivity*, doi: 10.1016/j.jenvrad.2011.10.003 (2011))

筑波大学東日本大震災復興・再生支援プログラムの一つとして「東日本大震災による原発事故後の放射性核種の汚染の実態と対策(代表者 松本宏アイソトープ総合センター長)」では、地表面に降下した放射性核種の土壌-植物系、土壌-水系での基本的な挙動を理解することは、原発事故の影響を理性的に判断する科学的な手だてになるだけでなく、被災者や行政機関にとっては土壌から作物に吸収移行する放射性物質を減らす等の対策の立案にも寄与すると考えられます。この研究プロジェクトでは、放射化学をはじめ、土壌科学、水文学、植物生理学等の専門家が福島原発事故による汚染地帯への対策、復興支援のため、その英知を結集し、「日本の新生」に向けて貢献していく活動が進められています。



渡邊 信

1 はじめに

本学で実施している藻類エネルギー研究は、藻類の炭化水素生産効率をエネルギー収支の観点で一桁高くすることを目的としたものである。研究基盤の構築、増殖に最適な培養条件の決定、炭化水素合成に係るほとんどすべての遺伝子配列の決定、除草剤耐性株の開発、産生される炭化水素の燃料特性解析、さらに試験プラント実験により、全工程におけるコスト・エネルギー収支改善に資する培地の開発、室内でのタネ培養～屋外試験プラント～屋外デモプラントまでのシステム開発がなされた。また、これまで炭化水素オイルを産生する藻類はボトリオコッカス(*Botryococcus*)しか知られていなかったが、それよりも10倍以上の炭化水素生産能力をもつオーランチオキトリウム(*Aurantiochytrium*)株が発見され、これにより、炭化水素生産潜在能力を一桁増進できる見通しがついてきた。これまで科学技術振興機構戦略的研究推進事業および特別経費「次世代環境エネルギー技術開発国際研究拠点の構築」で得られ、平成20～22年にかけて国際誌で発表された成果をまとめて報告するとともに、今後の展開について述べる。

2 研究基盤となる培養センターの確立と管理

平成20～22年秋にかけては、筑波大学産学リゾン共同研究センターの実験室にセットされた8m²の培養庫での10L培養器、300Lのドーム型と30Lの円筒型培養器、並びに筑波大学プロジェク

ト棟に設置された20m²の培養庫での10L培養器により、ボトリオコッカスが大量に培養され、平成22年度には1か月1トン規模での培養試料の提供が可能となり、要請に応じた提供をおこなってきた。平成22年の10月からは、前年度の補正予算で建設された藻類・エネルギーシステム国際研究拠点(図1)に2カ所に分散していた培養センターをまとめ、3人の委託技師により集中的に管理するシステムが構築され、1か月で3トンの培養試料提供が可能となった。



図1 藻類・エネルギー研究拠点と設置されたフォトリアクター(上:チューブ型、下:NASA型)

3 光合成・増殖・オイル生産の最適培養条件の明確化

ボトリオコッカスBOT144株において、以下の事実を明らかにした。

- A) AF-6培地成分の1-5倍の変化は、増殖速度に全く影響せず、培地成分が必要条件であること。
- B) 培地中窒素源の枯渇は増殖を阻害すること。
- C) 至適温度が30℃であるが、40℃でも生育するという高温耐性である。
- D) 至適pHが5.01-9.15の範囲に広く存在すること。
- E) 光合成活性を飽和させる光強度は比較的高く(400 μmol photons m⁻² s⁻¹)、それは増殖が飽和する光強度(40 μmol photons m⁻² s⁻¹)とは一致しないこと。
- F) 光波長により増殖が飽和する光量は異なること。
- G) 増殖速度は、赤色(660nm)光照射下(60 μmol photons m⁻² s⁻¹)で最大光利用効率を得ること。



- H) 光波長の違いは増殖速度や色素組成、コロニー形状に影響するが、代謝経路や光合成装置自体には影響しないこと。
- I) 全脂質中の炭化水素割合は、緑色光照射細胞(40%)で低下し、青、赤色光照射細胞(50%)で増大すること。また、新規単離株 BOT-22 を用いて、明らかにしたことは以下の通りである。
- J) 炭化水素は暗条件下でも消費されず、安定的に蓄積されること。
- K) 赤色光では、炭化水素生産は糖生産や光合成よりも低光強度で飽和すること(以上 E-K まで発表原著論文 1)。
- L) グルコースを添加することによりボトリオコッカスの増殖が促進されること(発表原著論文 2)。

4 増殖・オイル生産を制御する内的因子の探索と作用機序の解明

放射性同位元素ラベルの炭酸ガス ($^{14}\text{CO}_2$) を基質として与え、ボトリオコッカスによる糖、脂質、タンパク質、低分子代謝化合物の生合成について、経時的变化を解析した結果、光合成により固定された ^{14}C の 70% は脂質の生合成に使用され、低分子代謝産物 (20%)、タンパク質 (8%)、多糖 (2%) の割合は低いことが明らかとなった。当初、多糖合成活性が高く、多糖合成を抑制することが脂質、炭化水素合成量 (速度) の向上に寄与すると予測していたが、そうではなく、光合成 CO_2 固定活性を向上させ、炭素インプット量 (速度) を増大させることが、オイル生産量を向上させるための鍵であることを実験的に証明した (発表原著論文 3)。したがって、その方法を開発する必要性が明確になった。また、対数増殖期初期では放射性同位元素ラベルの炭酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_2^{14}\text{CO}_3$) とアミノ酸の 1 種メチオニン (L-[methyl- ^{14}C]-methionine) からの炭化水素合成が活発であったが、後期 (培養 15 日目) にはいると、放射性同位元素ラベルのピルビン酸 (2- ^{14}C -pyruvic acid) からの炭化水素合成が活発化した (発表原著論文 4)。さらにボトリオコッカスのうち脂肪酸由来の炭化水素オイルを生成する

レース A 代表株 (BOT88-2 株)、トリテルペン由来の炭化水素オイルを生成するレース B 代表株 (BOT22 株、BOT70 株) のそれぞれにおいて発現している遺伝子の塩基配列を網羅的に解析し、オイル合成に関わる遺伝子の発現量を Real-time PCR 法でも定量することによりレース特異的なオイル合成遺伝子発現パターンを明らかにした。オイル合成に関しては、レース A 株ではアシルキャリアー蛋白質 (acyl-ACP) 伸長経路・超長鎖脂肪酸伸長経路を介したオイル合成経路が、レース B 株では非メバロン酸経路を介したオイル合成経路が主要であることが明らかになった。これらの経路上で、レース A、レース B それぞれに関して 1 反応についてのみ酵素遺伝子の同定が出来なかったが、その他の反応に関しては酵素遺伝子の同定に成功した。これらの酵素遺伝子のレース特異的な発現パターンを解析することにより、レース A 株では超長鎖脂肪酸伸長経路への基質流入が (発表原著論文 5)、レース B 株では非メバロン酸経路・トリテルペン合成経路それぞれへの基質流入がオイル合成を律速している

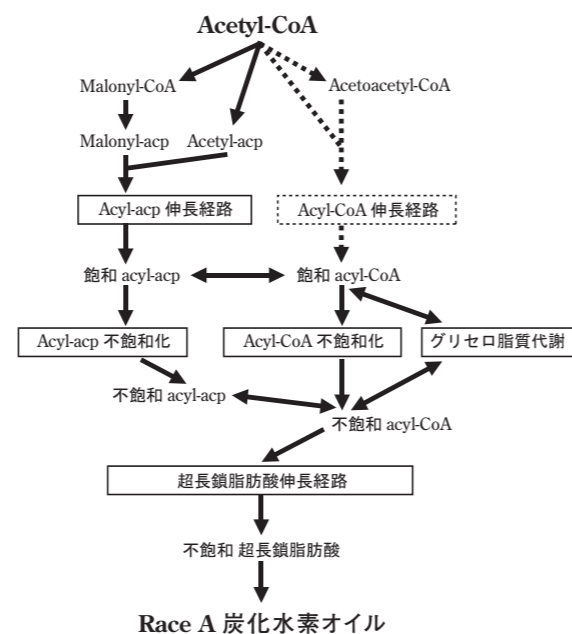


図2 レース A のオイル生合成経路
実線矢印は主要なオイル生合成経路であることが示唆された経路を、点線矢印は他生物で知られているがボトリオコッカスでは主要ではないことが示唆された経路を示す。

ことが示唆された (発表原著論文 6-8) (図 2, 3)。本研究で得られた塩基配列は、GenBank、EMBL、DDBJ データベースへの登録により一般公開した。本研究で得られた全長 cDNA クローンおよび塩基配列情報は今後の研究のためのリソースとして有用である。

5 野生株の品種改良

既存のアルカリ性・弱光増殖性株に紫外線照射や変異源物質を与えて突然変異を誘発させ、開放系で他の藻類の混入防止制御を可能とする除草剤耐性株を作成することを目的として行った。

BOT88-2 株について、除草剤パラコート耐性株を 34 株、除草剤グルホシネート耐性株を 17 株得た。BOT22 株については、除草剤パラコート耐性株が 21 株、除草剤グルホシネート耐性株の候補が 20 株得られた (発表原著論文 9)。BOT88-2 株由来の除草剤耐性株の比増殖速度を調べたところ、パラコート耐性株では 34 株のうち 3 株は、野生型 BOT88-2 株を除草剤を添加せずに培養したときの比増殖速度と同程度の比増殖速度を示した。グルホシ

ネート耐性株 17 株は、いずれも野生型の BOT88-2 株を除草剤を添加せずに培養したときの 50-70% の比増殖速度を示した。パラコート耐性株 9 株について、オイル含量を野生型の BOT88-2 株と比較したところ、野生型と同じか上回るものが 3 株あった (図 4)。グルホシネート耐性株では、調べた 9 株すべてにおいて野生型と同じ程度か上回っていた (図 4)。また BOT22 株由来の除草剤耐性変異株については現在、比増殖速度を求めているが、1 株については、野生型の BOT22 株を除草剤を添加していない培地で培養したときの比増殖速度と差がないことが明らかとなっている。残りの除草剤耐性株について比増殖速度及びオイル含量の測定を継続している。

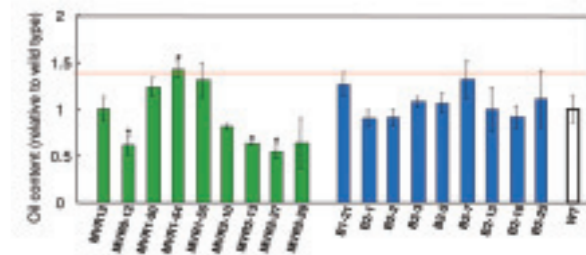


図4 除草剤耐性株のオイル含量の比較
緑：パラコート耐性株、青：グルホシネート耐性株、WT：野生型の BOT88-2 株を除草剤無添加培地で培養した時の比増殖速度

6 ボトリオコッカスの濃縮・収穫および炭化水素の抽出・精製

このプロセスにおいて、エネルギー消費の少ない手法が開発されたが、特許の関係で詳細は省略する。

7 産生物の物理化学的特性の把握

抽出・精製された炭化水素の分子式、構造解析を行い、燃料としての可能性を提示することを目的として実施したものである。GC/MS および H, ^{13}C -NMR 分析の解析から、BOT22 株の精製炭化水素画分中の 94% は $\text{C}_{34}\text{H}_{58}$ 、分子量 466 の単一の構造を持つ炭化水素であった (図 5) (発表原

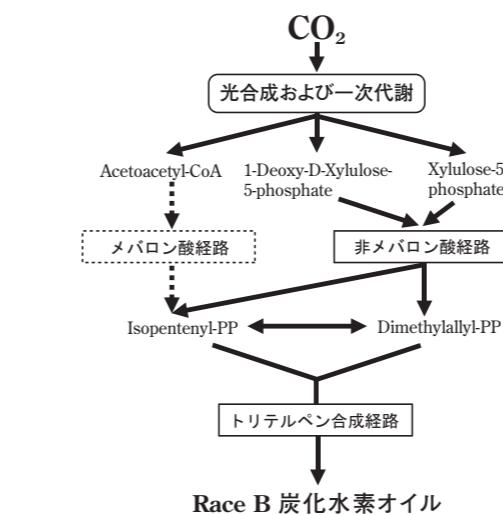


図3 レース B のオイル生合成経路
実線矢印は主要なオイル生合成経路であることが示唆された経路を、点線矢印は他生物で知られているがボトリオコッカスでは主要ではないことが示唆された経路を示す。

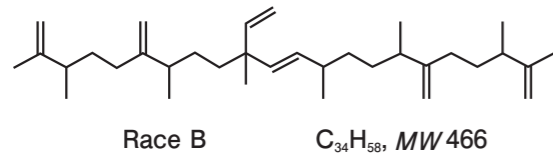


図5 ポトリオコッカスレースBのBOT-22の産生する炭化水素

著論文 10)。残りの炭化水素も分子量 466 であったが、構造の異なる幾何異性体であった。このように、極めて純度の高い単一構造の炭化水素が得られることから、燃料以外の用途の開発の可能性がある、ラジカル重合やカチオン重合によって高分子化できることが明らかになった。また、不飽和結合を水素添加した飽和型炭化水素は温度に対して安定であり、 $-30 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 付近まで安定な液体であった。また、ポトリオコッカスが産生する炭化水素はこれまでその構造に応じて、アルカジエン、アルカトリエンおよびそれらの派生物を産生するレースA、トリテルペノイドの炭化水素を産生するレースB、テトラテルペノイドのリコパダイエンの炭化水素を産生するレースLの3つが報告されていたが、日本で新たに分離培養されたポトリオコッカスをしらべた結果、1原子の酸素を含む炭素数が18あるいは19のエポキサイドであるレースSa、1原子の酸素を含む炭素数が40のレースLaの2つが確認された。

ポトリオコッカスレースBに属するBOT-22の炭化水素 ($C_{34}H_{58}$) の燃料物性を、大型船舶用重油の国際標準として使われているIFO380、そして軽油の燃料物性と比較すると、ポトリオコッカスの炭化水素の密度、動粘度、表面張力は軽油に近い(表1)。炭素数からいうとポトリオコッカスの炭化水素は重油に相当するが、燃料物性は重油とはかなり異なり、むしろ軽油のほうに近い性質をもつことは注目すべきである(発表原著論文11)。このほか、エキネノンを高濃度に産生するポトリオコッカスの培養株も発見されており、エキネノンが抗酸化作用をもつこと、プロビタミンAとして機能することから、エキネノンの産業用途が期待される(発表原著論文12)。

表1 ポトリオコッカスが産生する炭化水素の燃料物性

炭化水素燃料	密度 (kg/m ³)	表面張力 (x10 ⁻³ N/m)	動粘度 (cSt)
Botryococcus C34H58	0.825	29.7	58.1
IFO380 大型船舶用重油	0.983	32.0	1,940
軽油	0.862	28.2	15.3

8 生産物の高度利用法の開発

運輸燃料としての直接利用の可能性については、自動車関連会社の協力で、高速圧縮装置を用いて行った。

高速圧縮装置をもちいてポトリオコッカスの炭化水素の燃焼テストをおこなった。ポトリオコッカス炭化水素および比較のコントロールとして軽油を使い、それぞれを圧縮空気で混合したものをスプレーで高速圧縮装置へ注入し、その燃焼状況を高速ビデオカメラをもちいて観察した。その結果、ポトリオコッカスの炭化水素は軽油と比較して、1秒程度おくれたものの、まちがいに爆発燃焼した(図6)。以上のことから、ポトリオコッカス炭化水素100%でも運輸用燃料(すくなくとも船舶燃料)として利用できることが示唆された。

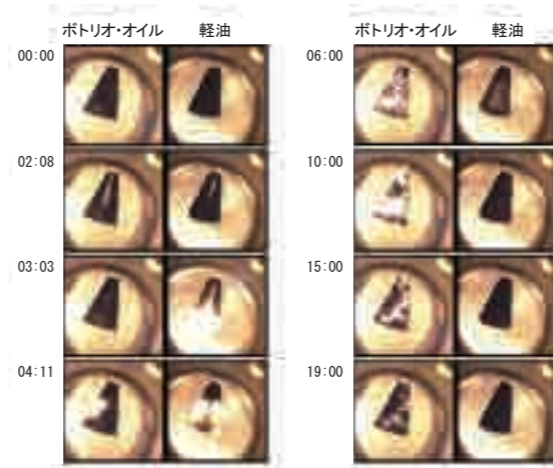


図6 高速圧縮装置におけるポトリオコッカス炭化水素と軽油の燃焼

9 試験プラントによる実証実験

試験プラントはデモプラントの最小単位として位置づけられるため、ポトリオコッカスの培養生産、濃縮・収穫、炭化水素の抽出に最適なシステムやプラントの形状を確立する。

9-1 形状について(その1): 室内培養の結果より(発表原著論文13)

室内10L培養では定期的に窒素分を添加することにより、最大で乾燥重量3.8g/Lのバイオマスが得られた。しかし、1-2g/Lで得られた倍加時間は22日と非常に遅い増殖速度であった(図7)。フラスコ培養では最大で倍加時間が2.4日であったが、こ

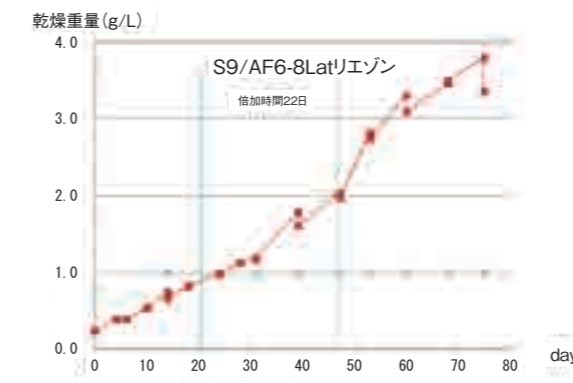


図7 10L培養瓶(ナルゲン製)におけるポトリオコッカスBOT-22の増殖

れと比べると約1/8に減少した。上部からの光照射であったため(培養表面で $100 \mu\text{mol photon/m}^2 \text{sec}$)、光パスが長い(約25cm)ことが原因の一つと思われた。ただし、80日以上という非常に長期間の培養にもかかわらず、窒素分を定期的に添加することで安定して増殖していくことが判明した。

さらに光パスをより短くしたチューブ状の培養器(径15cm)でもって、ポトリオコッカスを培養し、横からの光照射(培養表面で $100 \mu\text{mol photon/m}^2 \text{sec}$)で培養した結果、1-2g/Lの増殖で倍加時間が12日と短縮された(図8)。したがって、屋外ではこのチューブ状培養器を基本としたシステムを作製することとし、既存のドーム型培養リアクターと比較することとした。

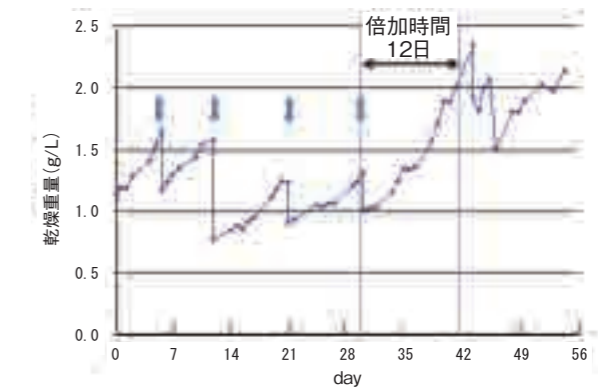


図8 チューブ状のリアクターでの連続培養(室内)。矢印は、一部収穫し、収穫した分だけ培養液を添加したことを示す

9-2 形状について(その2): 屋外培養の結果より(発表原著論文 13)

屋外では、室内の結果をふまえてチューブ状培養器48本からなるリアクターシステムを作製した。さらにヘマトコッカス藻の野外培養で活用されているドーム型培養器やアメリカ航空宇宙局(NASA)が作製した太陽追尾型リアクターも作製し比較を行った。野外チューブリアクター(径12cm、高さ2m)で1%CO₂を含む空気で通気すると、増殖量は最大で3.8g/Lとなり、増殖速度は1-2g/Lのところまで倍加時間8日の速度を得た(図9)。基本的には室内のチューブリアクターで得られた倍加時間より速く、昼の温度が30-35℃とボトリオコッカスBOT22に最適な温度になったことによると思われる。

また、ドーム型リアクターでは、最大増殖量は0.6g/L以上にはならず(図10)、0.3-0.6g/L

の増殖では倍加時間が約16日と長く、チューブ型リアクターと比べると生産効率が悪いといえる。

NASA型の太陽追尾装置があるリアクター(直径25cm、高さ4m)には水温を制御するチラーユニットが装備され、藻類を含む培養液がリアクターとチラーユニットを循環し、チラーユニットのところでCO₂が注入されるというシステムである。4基を試験的に稼働させたが(図11)、増殖量は0.4g/L程度でまだ生産効率が悪いことから、CO₂の与え方を中心に改良を試みているところである。

結論として、野外チューブリアクター(径12cm、高さ2m)が、もっとも生産効率がよいことが判明した。さらに冬季にはビニール温室では温度5-20℃の変動を示すが、そのような厳寒期でも、10-20日程度の倍加時間で増殖することから、1年中稼働することが可能であることが判明した(発表原著論文 13)。



図11 NASA型の太陽追尾型リアクターの全形

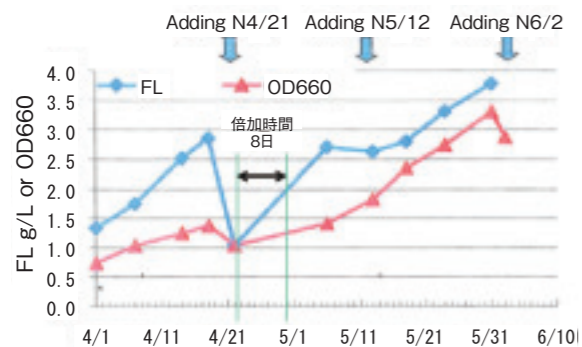
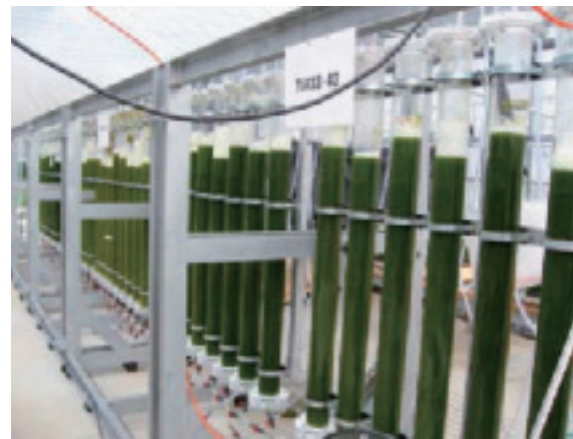


図9 野外チューブリアクターにおけるボトリオコッカスの増殖(4月1日~5月31日:この期間における培養器水温は10-37℃の間で変動)

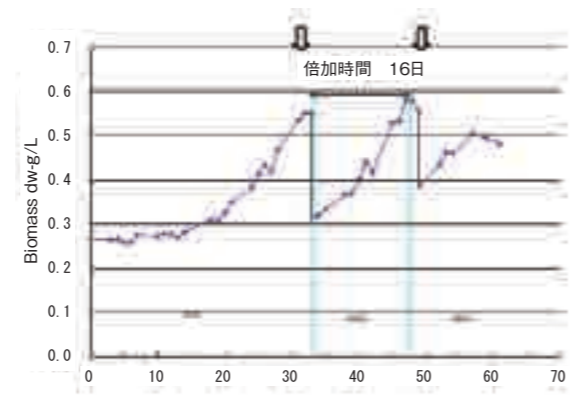
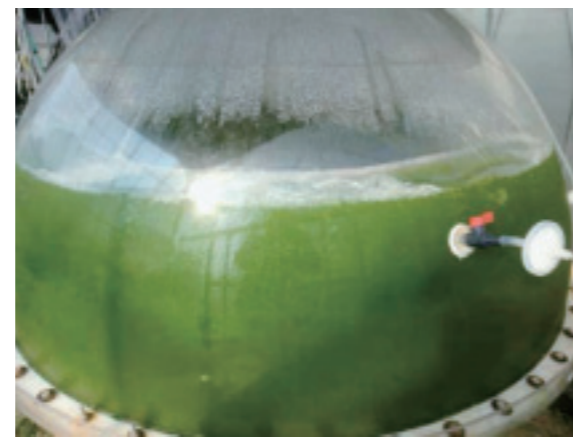


図10 ドーム型リアクターにおけるボトリオコッカスの増(3月~5月)矢印は一部収穫し、収穫した容量分の培養液を追加したことを示す。

9-3 安価な培養液の開発

必要な栄養塩を含む培地は、実験室では人工培地を使うが、そのままにスケールアップしたプラントに適用すると、コスト・エネルギー消費が大きくなることから、低コストで栄養塩を与える方法・技術を開発することを目指した。既存の栽培植物用の安価な液体肥料および有機廃水の一次処理水の適用性を検討した。さらに夜間のLED照明の有効性について培養実験にて検討した。実験室の限定された培養条件下でのボトリオコッカスの培養実験では成分が明確な人工培地AF-6培地を使用した。このAF-6培地のかわりに三和農林製プラウト用肥料を1/1000に希釈したKAI培地を使用した結果、AF-6培地と全く変わらない増殖を得ることができた(図12)

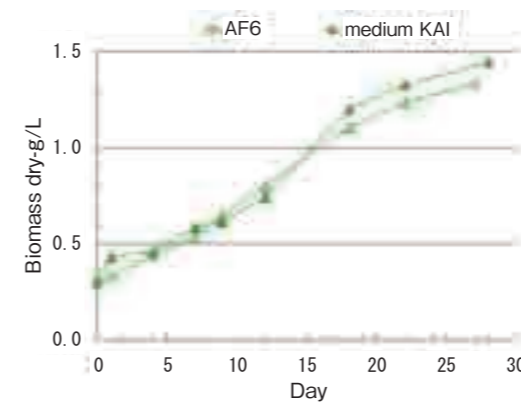


図12 人工培地AF-6とKAI培地におけるボトリオコッカスBOT-22の増殖

(発表原著論文 13)。このことにより培地製造にかかるコスト・エネルギーが1/30に減少することとなる。後述するように、全体のエネルギー消費で栄養塩(培地作製)にかかるエネルギーを8%から0.27%へ減少させることができることとなる。

AF-6培地とKAI培地がともにボトリオコッカスBOT-22株の増殖にとって、非常によい培地であること、ボトリオコッカスはグルコース添加により増殖およびオイル生産が促進されることが判明したことから(発表原著論文 2)、よりエネルギー収支の効果をあげるために、有機廃水の利用可能性について調べた。基本無機培地(AF-6)をコントロールとして、大豆廃水を様々な濃度になるように調製した培地で42日間培養し、増殖速度・最終的なバイオマス量および炭化水素生産量をコントロールと比較することで、有機廃水の効果を検討した。その結果、大豆廃水を1-2%(v/v)添加した培地で、最も良い藻体重量および培養液あたりの炭化水素含量が得られることが明らかとなった(図13、14、表1)。

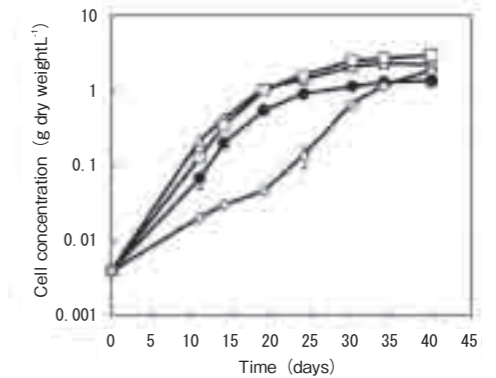


図13 様々な濃度の大豆廃水(v/v)を利用したボトリオコッカスbraunii BOT-22株における増殖曲線
●, 大豆廃水0%(control); △, 大豆廃水1%; □, 大豆廃水2%; ◇, 大豆廃水5%



図14 培養13日目の写真



コントロールと比較して藻体重量は大豆廃水2%で最も高く2.2倍(2.92g/L)であり、大豆廃水1%では1.7倍(2.21g/L)に増加した。細胞あたりの炭化水素含量は廃水濃度によってほとんど変わらなかった。しかし、藻体重量の増加に伴って培養体積あたりの炭化水素含量が増加し、大豆廃水2%では最も高く696.3mg/Lであり、これはコントロールの約2倍であった(表1)。大豆廃水5%では増殖速度はコントロールを下回ったものの、最終的な藻体重量はコントロールを上回ったために、培養

液あたりの炭化水素含量も1.2倍(429.3mg/L)に増加した(発表原著論文14)。この効果はコントロールとして、KAI培地を使った実験でも確認された。

大豆廃水(原水)が2%分ボトリオコッカスの培養に利用できることにより、たとえば5000m³/日の廃水処理(水+汚泥)で消費するエネルギーは原油換算で4トン(16,461kWh)であり、その2%分原油換算で20L(82.3kWh)分のエネルギー消費(すなわちCO₂排出量では28.6kg-CO₂)を減少させることとなる。

表2 比増殖速度および乾燥藻体重量・培養液あたりの炭化水素含量

Initial wastewater concentration (v/v)	Specific growth rate (μ , day ⁻¹)	Hydrocarbon content (mg, g ⁻¹ dry weight) ^a		Total hydrocarbon content (mg, g ⁻¹ dry weight) ^a	Total amount of hydrocarbon in cultures (mg, L ⁻¹) ^a
		C ₃₄ H ₅₈	C ₃₂ H ₅₄		
0%	0.259 ± 0.006	261.4 ± 37.9	ND ^b	261.4 ± 37.9	348.6 ± 50.5
1%	0.295 ± 0.006	172.7 ± 28.8	57.3 ± 21.1	230.0 ± 8.4	509.1 ± 18.5
2%	0.292 ± 0.006	168.7 ± 23.5	69.7 ± 22.1	238.4 ± 28.6	696.3 ± 83.5
5%	0.182 ± 0.005	62.0 ± 12.4	175.6 ± 21.8	237.6 ± 32.5	429.3 ± 58.7

^a, Measured value of harvested samples (day 40).

^b, ND, Not detected

Data represent mean values ± standard deviation (n = 3).

10 その他特筆すべき成果

以上のほかに、以下のような特筆すべき成果が得られた。

- A) ボトリオコッカスの生産・濃縮・収穫、炭化水素の抽出・精製、燃焼までの一連の過程でのエネルギー収支とコスト収支を算定するためのプロトタイプモデルを開発したこと(発表原著論文15)。
- B) ボトリオコッカスの遺伝的多様性と炭化水素種多様性との関連を解明したこと(発表原著論文16)。
- C) ボトリオコッカスが野外で優先種となる環境および遺伝的要素の解明(発表原著論文17)。
- D) ボトリオコッカスの増殖を促進するボトリオコッカス-バクテリアの共生系の発見(発表原著論文18)。

11 ボトリオコッカスよりも炭化水素生産効率が10倍以上高い従属栄養性藻類オーランチオキトリウムの発見

以上のようにボトリオコッカスの培養・濃縮・収穫、炭化水素オイルの抽出・精製、特性、用途においてラボスケールと試験プラントにおいて重要な知見を得た。しかし、光合成藻類のオイル生産能力は理論的には354トン/ha/年、現実的には40-50トン/ha/年とされており(Weyer et al. 2010)、これでは原油価格にまでコストダウンすることは困難であると思われることから、従属栄養性藻類とのハイブリッドあるいは混合栄養型の藻類の活用が不可欠といえる。ラビリンチュラ類は高バイオマスを維持しつつ、多量のトリグリセリドオイルを蓄積するが、少量ではあるがトリテルペン炭化水素であるスクアレンを蓄積するとの報告がある。本研究は、ラビリンチュラ類の中から特に高バイオマス、高炭化水素生産の優良株を絞り出し、さらにその株にお

ける最も炭化水素生産量が良好となる培養条件を見出すことを目指した。沖縄のマングローブ林を中心に、東京湾、ベトナムの各地よりサンプルを得て、150以上の培養株を確立した。ナイルレッド染色の結果、多くの株で著しいオイル蓄積が認められ(図15)、培養実験によるオイル含量とバイオマス

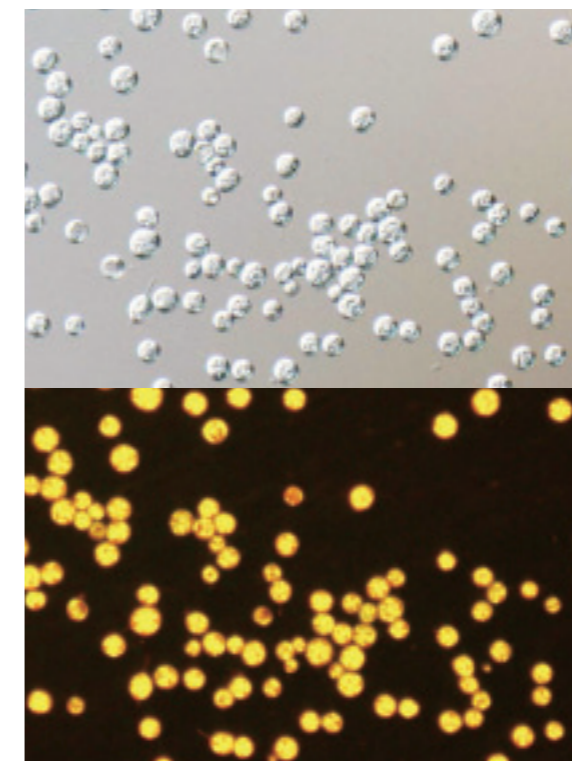


図15 トリテルペン炭化水素スクアレンを産生するオーランチオキトリウム18W-13a。上より光学顕微鏡像、ナイルレッド染色によって脂質が黄色く輝いて見える蛍光顕微鏡像。

表3 トリテルペン炭化水素スクアレンを産生するラビリンチュラの培養株

株名	増殖量(乾燥重量g/L)	スクアレン含量(mg/g)	スクアレン生産量(mg/L)
16-1c	3.2	203.9	654.5
6W-20a	3.7	188.1	692.1
AR-4a	2.4	316.6	772.6
6M-7a	3.0	100.2	301.6
18W-13a	5.0	173.7	863.3

の比較により、高オイル産生株が絞られた。TLCおよびHPLC分析の結果より、スクアレンを多く産生する株が得られ(表3)、特に18W-13a(図15)(分子系統解析の結果よりオーランチオキトリウム種と同一)が培養体積当たりのスクアレン生産量が最も多く、有望株と認められた(発表原著論文19, 20)。

さらにトリグリセリドを高濃度に蓄積する4W-1b株も分離培養された。4W-1b株について培養温度を変化させて培養条件検討を行った結果、20℃で最も高いバイオマスを得た。一方、グルコース濃度を上げて6%以降、バイオマスや脂質に大きな差は認められなかったが、6%グルコースで総脂肪酸含量が80%を上回り、9%グルコースでは総脂肪酸含量が70%を上回った。有用高度不飽和脂肪酸であるDHA(1.5g/L以上)とDPA(0.3g/L以上)を顕著に認め、培養条件次第で既知の有望株オーランチオキトリウムSR21に匹敵する高オイル産生の可能性が示唆され、さらにグルコース濃度を変化させることにより、脂肪酸組成が変化していくことが判明した(発表原著論文21, 22)。

高スクアレン産生株であるオーランチオキトリウム18W-13a株の含有するスクアレン量は、これまで報告のあったラビリンチュラ類を含むオイル産生性微生物の産生するスクアレン量の数百倍に及ぶものであった(例えばオーランチオキトリウムBR-MP4-A1を用いたChen et al. (2010)の研究では、最適培養条件でのスクアレン量は0.72mg/g, 5.90mg/Lである)。18W-13a株を25℃、海水濃度50%、グルコース濃度2%で培養すると3-4日目で増殖の静止期にはいり、バイオマス量とスクアレン含量は最大達し、8日目、12日目には次第に減少していった(表4, 図16)(発表原著論文19)。したがって、18W-13a株の増殖とスクアレン含量・生産量を最適化する培養条件を検討した。その結果、18W-13a株は10-35℃で増殖し、倍加時間は10℃で23時間、15℃で6.4時間、20℃で3.7時間、25℃で3.1時間、30℃で1.9時間、35℃で9.7時間であった。スクアレン生産効率は温度25℃、海水濃度25%(約9%塩分)、グ



ルコース2%で最も高かった(発表原著論文 23)。オーランチオキトリウム 18W-13 株はトリテルペン炭化水素含量が 20%とポトリオコッカス(32-50%) よりも低いが、1-2g/L にかけての増殖速度(3.1 時間)はポトリオコッカスのそれ(10 日)より 77 倍も速く、炭化水素生産効率は少なくとも 30 倍は高いと見積もられた。

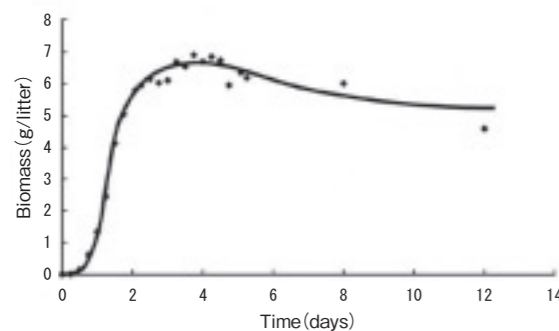


図 16 18W-13a 株を温度 25℃、海水濃度 50%、グルコース濃度 2%で培養

表 4 18W-13a 株の培養期間におけるバイオマスとスクアレン量の変化

培養日数	バイオマス (g/L)	全脂質量 (g/L)	スクアレン量 (g/L)	スクアレン含量平均 (mg/g)
4 日間	6.5 ± 0.3	3.90 ± 0.22	1.29 ± 0.13	198
8 日間	5.5 ± 0.3	1.53 ± 0.21	1.04 ± 0.18	189
12 日間	5.2 ± 0.5	1.29 ± 0.36	0.89 ± 0.15	171

12 最後に：今後の研究の進め方、および研究成果の見通し

生物学的には、ポトリオコッカスのオイル合成経路に関わる遺伝子がほぼ全て明らかになったが、さらに沖縄科学技術大学院大学、国立環境研究所との共同で全ゲノム解読に向けた取り組みを開始した。オイル合成の制御機構を解明しながら、オイル生産の潜在力を向上させる品種改良技術の開発を重点的に実施する。野外でのポトリオコッカスの大量培養を行ったときに消費エネルギー、生産コストを下げため、増殖(少なくとも野外で倍加時間が5日以

内)と炭化水素生産(50%前後)に優れ、環境適用性が高い変異株を獲得したい。さらに、現在、濃縮・収穫、抽出・精製プロセスでのエネルギー収支モデルの検証を、大規模スケールでのデモプラントで行い、より効率的な手法を開発しており、同時に生産で消費するエネルギーが、通気および培養(ミキシングや培地の移動等)で全体の2/3を占めると推定されていることから、ナノバブル法の適用可能性、効率的なミキシングと培地移動法の開発を重点的に行っている。また、ポトリオコッカスが低濃度の有機廃水で増殖が促進され、炭化水素生産効率を2倍高めることがわかったこと、ポトリオコッカスが抗生物質耐性であること、除草剤耐性ポトリオコッカスが開発されたことから、バクテリアと他の藻類の混入・繁殖を制御しつつ、スピルリアンやクロレラ等で使われている開放系商業プラントにおいて、実証試験を行う計画である。以上は、これまで実施してきた戦略的科学研究推進事業(CREST)を発展させて実施し、スケールアップした生産システムでの実証研究は今年度より新たに始まったつくば国際戦略特区事業として展開され、かつ継続すべき基礎研究・教育は特別経費「次世代環境エネルギー技術開発国際研究拠点の構築」で継続される。また、炭化水素の生産効率が一桁高いオーランチオキトリウムの発見により、ポトリオコッカスとオーランチオキトリウムによる炭化水素生産を廃水処理プロセスに統合することにより、エネルギー収支とコスト収支が大幅に改善される可能性がある。この可能性の検証のために必要な基礎研究を進めていく必要がある。

以上の研究を完結させることで、炭化水素生産効率の一桁向上を可能とする基盤技術が確立され、これにより、自然再生エネルギーへの投資が進み、藻類を原料としたオイル生産の実用化へ大きなインパクトを与えると思われる。

13 引用原著論文(国際誌のみ)

- Baba, M., Kikuta, F., Suzuki, I., Watanabe, M.M. and Shiraiwa, Y. (2012a) Wavelength specificity of growth, photosynthesis, and hydrocarbon production in the oil producing green alga *Botryococcus braunii*. *Bioresource Technology* **109**, 266-270
- Tanoi, T., Kawachi, M. and Watanabe, M.M. (2011) Effects of carbon source on growth and morphology of *Botryococcus braunii*. *J. Appl. Phycology* **23**, 25-33
- Sakamoto, K., Baba, M., Suzuki, I., Watanabe, M.M. and Shiraiwa Y. (2012) Optimization of light for growth, photosynthesis, and hydrocarbon production by the colonial microalga *Botryococcus braunii* BOT-22. *Bioresource Technology* **110**, 474-479
- Niitsu, R., Matsuwaki, I., Ikegami, Y., Tanoi, T., Kawachi, M., Watanabe, M.M. and Kato, M. (2012) Changes in the hydrocarbon-synthesizing activity during growth of *Botryococcus braunii* B70. *Bioresource Technology* **109**, 297-299
- Baba, M., Ioki, M., Nakajima, N., Shiraiwa, Y. and Watanabe, M.M. (2012b) Transcriptome analysis of an oil-rich Race A strain of *Botryococcus braunii* (BOT88-2) by de novo assembly of pyrosequencing cDNA reads. *Bioresource Technology* **109**, 282-286
- Ioki, M., Baba, M., Shiraiwa, Y., Watanabe, M.M. and Nakajima, N. (2012) Transcriptome analysis of an oil-rich race B strain of *Botryococcus braunii* (BOT22) by de novo assembly of pyrosequencing cDNA reads. *Bioresource Technology* **109**, 292-296
- Ioki, M., Baba, M., Nakajima, N., Shiraiwa, Y. and Watanabe, M.M. (2012) Transcriptome analysis of an oil-rich Race B strain of *Botryococcus braunii* (BOT70) by de novo assembly of 5'-end sequences of full-length cDNA clones. *Bioresource Technology* **109**, 277-281
- Ioki, M., Masato Baba, M., Nakajima, N., Bidadi, H., Suzuki, I., Shiraiwa, Y. and Watanabe, M.M. (2012) Modes of hydrocarbon oil biosynthesis revealed by comparative gene expression analysis for Race A and Race B strains of *Botryococcus braunii*. *Bioresource Technology* **109**, 271-276
- Ioki, M., Ohkoshi, M., Nakajima, N. and Watanabe, M.M. (2012) Isolation of herbicide-resistant mutants of *Botryococcus braunii*. *Bioresource Technology* **109**, 300-303
- Ishimatsu, A., Matsuura, H., Sano, T., Kaya, K. and Makoto M. Watanabe. (2012) Biosynthesis of isoprene units in the C₃₄ botryococcene molecule produced by *Botryococcus braunii* strain Bot22. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 56-65
- Nagano, S., Yamamoto, S., Nagakubo, M., Atsumi, K. and Watanabe, M.M. (2012) Physical properties of hydrocarbon oils produced by *Botryococcus braunii* with special reference to the density, kinematic viscosity, surface tension, and distillation properties. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 73-79
- Matsuura, H., Watanabe, M.M. and Kaya K. (2011) Echinenone production of a dark-red coloured strain of *Botryococcus braunii*. *J. Appl. Phycol.* doi 10.1007/s10811-011-9719-7
- Shimamura, R., Watanabe, S., Sakakura,

次世代エネルギーシステム開発の取り組み

システム情報系 構造エネルギー工学域 教授 石田 政義

- Y., Shiho, M., Kaya, K. and Watanabe, M.M. (2012) Development of seed culture system of *Botryococcus* for future mass culture. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 80-89
14. Yonezawa, N., Matsuura, H., Shiho, M., Kaya, k. and Watanabe, M.M. (2012) Effects of soybean curd wastewater on the growth and hydrocarbon production of *Botryococcus braunii* strain BOT-22. *Bioresource Technology* **109**, 304-307
15. Shiho, M., Kawachi, M., Horioka, K., Nishita, K., Ohashi, K., Kaya, K. and Watanabe, M.M. (2012) Business evaluation of an oil production system with green micro-algae *Botryococcus braunii*. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 90-109
16. Kawachi, M., Tanoi, T., Demura, M., Kaya K., and Watanabe, M.M. (2012) Relationship between hydrocarbons and molecular phylogeny of *Botryococcus braunii*. *Algal Research*, in press
17. Demura, M., Kawachi, M., Koshikawa, H., Nakayama, T., Mayuzumi, T. and Watanabe, M.M. (U.Tsukuba) (2012) Genetic succession of *Botryococcus braunii* (*Trebouxiophyceae*) in Japanese two reservoirs. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 3-11
18. Tanabe, Y., Kato S., Matsuura, H. and Watanabe, M.M. (2012) A *Botryococcus* strain with bacterial ectosymbionts grows fast and produces high amount of hydrocarbons. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 22-26
19. Kaya, K., Nakazawa, A., Matsuura, H., Honda, D., Inouye, I. and Watanabe, M.M. (2011) Thraustochytrid *Aurantiochytrium* sp. 18W-13a accumulates high amount of squalene. *BioScience, Biotechnology, and Biochemistry* **75**, 2246-2248
20. Matsuura, H., Watanabe, M.M and Kaya, K. (2012b) Squalene quantification using octadecylbenzene as the internal standard. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 43-46
21. Nakazawa, A., Matsuura, H., Kose, R., Kato, S., Honda, D., Inouye, I., Kaya, K. and Watanabe, M.M. (2012) Optimization of biomass and fatty acid production by *Aurantiochytrium* sp. strain 4W-1b. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 27-33
22. Matsuura, H., Nakazawa, A., Honda, D., Watanabe, M.M. and Kaya, K. (2012a) Bio-rearrangement of the fatty acid composition of triglycerides produced by a thraustochytrid, *Aurantiochytrium* as a source of biodiesel oil. *Procedia Environmental Sciences* **15**, 66-72
23. Nakazawa, A., Matsuura, H., Kose, R., Kato, S., Honda, D., Inouye, I., Kaya, K. and Watanabe, M.M. (2012) Optimization of culture conditions of the thraustochytrid *Aurantiochytrium* sp. strain 18W-13a for squalene production. *Bioresource Technology* **109**, 287-291



石田 政義

1 はじめに

第三エリア前バス停西側駐車場奥に風力発電機が立つ施設を何だろうと思った方もおられるでしょう。良く見るとビニールハウスに加え、太陽電池を載せた平屋の建物に様々な機械が設置されています。有刺鉄線もある厳重なフェンスで囲まれ、本学の中ではちょっと異様な風景です。恐らくほとんどの人は「危険物でも保管しているのかな」くらいにしか思わないかもしれませんが。でも、玄関を覗けば「藻類・エネルギーシステム研究拠点」と掲げられています。名前のとおり、藻類バイオマスエネルギーを扱う渡邊信先生を中心としたグループのプロジェクが主ですが、後につながるエネルギーシステム開発も密かにも大きく進めつつあります。

ただ風力発電や太陽光発電が導入されただけではなく、それらの運用データ取りを行っているだけでもありません。実はこの施設には、持続可能に向けた環境負荷低減を実現すべく、様々な“最先端”が詰まっているのです。当プロジェクトをカーボンニュートラル対応エネルギーシステム (CNES, シーネスと呼ぶ) 開発と名付け、高い実用性を重んじたエンジニアリング研究を実施しています。本稿では、どのような独自技術を用い、どのような未来のエネルギーを創り上げようとしているのか、それら概要を紹介します。本学がこんな社会貢献をしようとしていることを知ってもらえれば本望です。

2 CNES の基本概念

CNES 実証設備 (図 1) が完成したのは、平成 23 年 3 月です。折しも最初に受けた洗礼は、3.11 の東日本大震災でした。幸いにして僅かな被害で済みましたが、原発事故も相まってエネルギー工学の潮流が変化したのは間違いありません。簡単に言えば、以前は CO₂ 排出削減の大きなところを原子力発電に期待しましたが、この目論見が脆くも崩れ、太陽光や風力といった再生可能エネルギーに主要な活路を見いだす風潮になりました。



図 1 CNES 実験実証設備の全景

元来、再生可能エネルギーは究極と認識されながら、低密度かつ不安定な出力および高コストのため、本命にはなり得ませんでした。しかし、放射性物質汚染のあまりに甚大な被害を目の当たりにしたことで自分のことと感ぜられるようになり、核燃料廃棄物の長き後生への負担は想像を絶することから、原子力に対する忌避を助長してしまったのでしょう。エントロピー増大の法則どおり、目先の豊かな経済を追求することが子孫を含めた周囲に影響しないわけがないことをやると多くの者が実感できたのかもしれない。

環境負荷低減のためのエネルギー技術開発は、言うまでもなく以前から活発に進められています。高効率で低コストの太陽電池 (PV) や風力発電機 (WT)、コージェネレーション (熱電併給) で総合効率の高い燃料電池 (FC) などは、いずれにしても最近の開発というわけではありません。本学におけるエネルギーシステム開発の特徴を一言で表すと、



“組み合わせの妙”すなわち連系（連携でも可）です。再生可能エネルギーが今後ますます導入されていくことは疑いなく、これをストレスなく利用できる、そんなエネルギーシステムを構築しようという考えです。通常ならバッテリーを併設すれば良いと誰もが考えますが、それを燃料電池でやろうというアイデアなのです。しかし、それが実際にはなかなか受け入れられませんでした。PVとFCを接続することは、縦割り構造の我が国では引き受け手がなかったのです。

予算はなくても信念を持って続けているとチャンスはあるもので、要素技術開発の進展が頭打ちになってきたところで、主張が広く理解されるようになってきました。さらに震災以降の潮流にうまく合致し、注目度は急上昇したと言っても過言ではありません。CNESは直流連系と水素のエネルギーネットワークを基調として、異なるエネルギー貯蔵手段を適用した未来に相応しいSimple, Passive, Robustなシステムです。高い実現性を有する、持続可能、高付加価値、柔軟な地産地消を目指しています。

3 CNESの設備概要

(1) 地産エネルギー源

地球上どこにでもあるエネルギーの主役は太陽光や風力で、これらを活用することが望まれるのは異論が少ないと思われます。CNES設備として総計20kWのPVおよび6kWのWTを設置しています。風力はつくば市において“回らない風車”問題でトラウマがあり、何故置いているのか（しかも3機も）とときどき指摘を受けます。確かに風況が悪く風力発電事業には向きませんが、ビジネスが成立するのは唯一風力だけで、その意味での導入の期待は大きいのです。したがって出力不安定性を解消させる研究対象としては外せないご理解ください。冬場は“筑波風”と称されるほど、比較的強風があり、場所に依存して変動も大きいことから、WT出力をどううまく利用するかは重要課題です。WTは

動きがありPVよりも目立つため、市はそこに魅力を感じたのでしょうか、結果的には全く逆効果であったと言えます。当プロジェクトでは普遍的に存在するエネルギー資源を上手に最大限抽出し、それを可能な限り任意に利用できるようにすることが、エンジニアリングの大きな役割だと想定しています。つまり主要なエネルギー源は再生可能エネルギーですが、研究対象で関心があるのは手段である変換過程ではなくじゃじゃ馬のごとき発電出力自体なのです。文字どおりうまく馴らして利便性を向上させることが本筋なのです(図2)。PVとWTは単なる既製品であり、プロジェクトにおいてはツールの部類と解釈していただければと存じます。

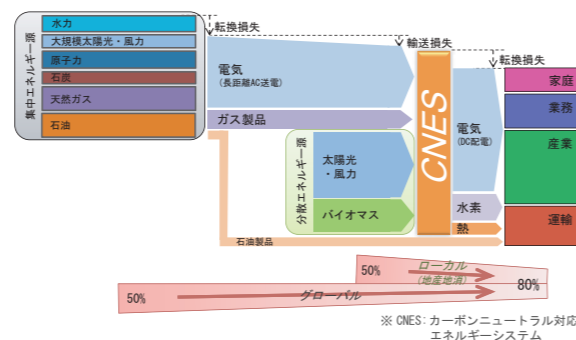


図2 CNESでの地産地消の概念

(2) 需給調整機能

世間ではスマートグリッドとかスマートコミュニティなどが騒がれています。簡単に「再生可能エネルギーを導入しつつ電力システムを安定化させる」と話しますと、それらと同じ研究開発じゃないかと勘違いする向きがほとんどです。ところが筆者はスマート何かはどうも胡散臭いと感じています。根本が米国からの直輸入、前面に出てくるのが情報通信技術、話題がスマートメーターやデマンドレスポンスばかりで、エネルギー工学とは一線を画しているようにさえ窺えるのです。エネルギー供給の本質は需要を満足させることであり、特に電力は輸送速度が速く（光速）て貯蔵性が劣ることから、需要量に発電量を瞬時に等しくする“同時同量”操作が要とな

ります。供給が逼迫したときに、使うのを我慢してもらおうというのがスマートグリッドの根本思想で、本来なら電源側の能力を強化してできる限り期待に応えるのが技術の腕の見せどころではないでしょうか。

不安定電源を多く抱えるほど、需給調整つまり[発電量<需要量]のときに補い[発電量>需要量]のときに蓄える仕掛けがキーテクノロジーとなります。一般的にはバッテリーを置けば大丈夫だろうということになるのですが、高価でロスが少なくなく場所もとる状態では大規模な普及は望めません。

そこで同じ電気化学的発電であるFCを利用することを提案しているのです。共通点は反応つまり発電の応答が負荷変動に受動的で高速かつ柔軟なことにあります。何が違うのかと言いますと、活物質つまりエネルギー源を内部に抱えているか外部から供給するかです。言い換えれば、設備の大きさがバッテリーはエネルギー（Wh：ワットアワー）に、FCは出力（W：ワット）に依存します。FCでは燃料を供給していれば、性能劣化しない限りいつまでも発電できるため、継続時間（h：アワー）の分は設備サイズにほぼ無関係と考えて良いわけです。ただし、水電解機能一体型可逆FCのように特殊な装置でなければ充電はできません。ガス事業者や石油事業者が販売する都市ガスやLPガスを燃料とするエネファームは、それら炭化水素系燃料から水素に転換するプロセスが内蔵されるので負荷追従性は大きく劣ります。停電した場合に自立発電できないのは正にそれが原因です。燃料を純水素とすると本来の電池としての性能が発揮できます。純水素供給を望む心はそこにあり、これをネットワークとしたいのはスケールメリットを活かす方がより高効率になるからです。

通常のFCは発電にしか対応しないため、発電に余力があるもののニーズがない場合には使わないよりも貯えておく選択の方が賢く、充電に相当する手段が別に必要になります。当プロジェクトでは比較的lowコストでのエネルギー貯蔵を志向し、水電解水素および地中熱利用ヒートポンプによる温熱と冷

熱の貯蔵を用いています。水電解-水素-燃料電池発電による往復効率は電力に限ると40%ほどと低いのですが、熱利用と併せると効率は高まり、長時間や大規模での貯蔵手段としては安価でロスが少ないことが期待されます。熱貯蔵は圧倒的にlowコストで、最終需要としては冷暖房が大きく占めることから、上手に運用すれば必ずしも電気のまま貯めておく必要はないでしょう。これら水電解やヒートポンプは余剰電力の大きさに合わせて可変出力運転できるのが当設備の特徴でもあります。リチウムイオン(Li-i)電池も装備していますが、電力貯蔵というよりも能力不足の追従応答を補完することと、万一の系統電源喪失時でも設備起動を可能とするための電源との考えで最小限の容量に抑えています。

他に、商用電力系統との双方向融通方式、将来普及してくるであろう電気自動車を需給調整に活用する手段や、電力供給が逼迫したときに優先度の低い負荷を強制的に切り離してしまう機構も取り入れています(図3)。

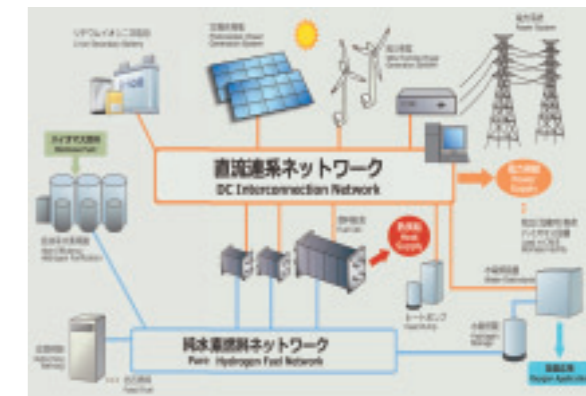


図3 CNESの連系構成

(3) バイオマス資源適用

CNESでの需給調整は純水素FCに委ねることは既に述べましたが、その水素源をどこからとするかは重要な問題です。水素は残念ながら資源として地球上に存在するものではなく、電力等と同じ二次エネルギーと呼ばれるエネルギー媒体の一種に過ぎません。再生可能エネルギー由来の電力を用いた水電解水素であれば、たとえ効率が芳しくなくてもCO₂

発生はありません。需要がどうしてもないなどやむを得ない場合を除き、損失が少なくなるよう可能な限り電力のまま利用する方策を考えることが好適です。水素を最も工業的に安価かつ安定に製造する方法は、炭化水素である都市ガスやLP ガス等を高温で水と触媒反応させる改質なのです。実はこの段階でCO₂が生じてしまいます。すなわち、化石燃料起源の原料を用いている以上は、全体システムとして相対的にCO₂排出量が減ったとしても、先送りになるだけで抜本的な解決ではないと言えます。

そこで本学では、最終的に水素起源をバイオマスにもっていこうと企てているのです。バイオマスであっても原料自身は炭化水素であり、水素転換時にはCO₂が発生しますが、成長時に空気中のCO₂を吸収するために循環するだけで増えることはありません。これがカーボンニュートラルと命名した根拠です。バイオマスは当然ながら再生可能エネルギーの一つで、太陽光や風力と大きく異なるのは貯蔵性のエネルギーであることです。車や飛行機等移動体への適用で大きく期待されているのはもちろん、我々から見れば需給調整用エネルギー起源として最も相応しいものとなります。中でも、言うまでもなく、藻類オイル生産プロジェクトは破竹の勢いで、これを使わない手はないのです。しかし、そのまま燃料電池で発電というわけにはいかないため、数理工学系の先生方に水素転換用の改質触媒を新たに開発してもらおうとする枠組みとなっています。平成22年度からスタートし平成25年度末に三者がリンクする原型を示すことを目標に、縦割りの大学組織では極めて珍しい横断プロジェクトと言えるでしょう。

水素ができてしまえば、後は使うだけというように簡単にはいきません。バイオマス起源の水素は一般的にN₂やCO₂を多く含み、H₂濃度が低いグレードの劣る燃料です。水素を高効率および高回収率で精製することが、エネルギープロセスとして重要な課題でもあります。高性能と水素供給の需給調整機能を両立させる目的で、独自のCOA-MIB法を用いた水素精製技術を開発しています(図4)。これは



図4 COA-MIB 新規水素精製プロセス

CO吸着剤(COA)によるCO除去と水素吸蔵合金(MH)の水素選択反応を組み合わせたもので、神戸製鋼所との共同研究で開発を進めています。COはMHもFC電極触媒も被毒してしまうため、前段での完全除去が必須となります。通常用いられている水素精製には、PSA(Pressure Swing Adsorption: 圧力スイング吸着)もしくはパラジウム膜分離ですが、エネルギー効率が低い上回収率も70%を超えることは難しいのが現状です。COA-MIB法では既に90%以上の回収率(エネルギー効率については未評価)を達成しています。MH部では水素バッファ機能も兼ねており、需要に合わせて受動かつ柔軟に供給できることが強みでもあります。CNESにおいてはベンチスケールモデル(水素精製能力:

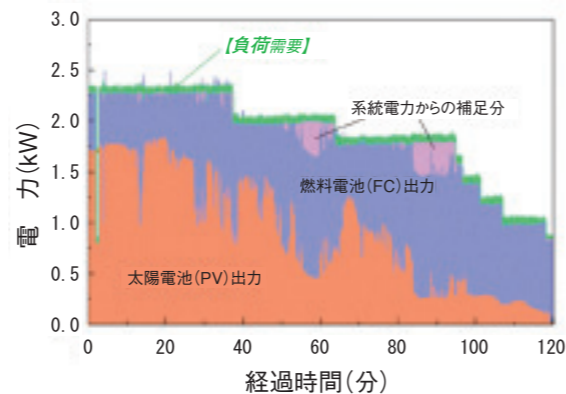


図5 CNES 設備での需給調整運用例

約3Nm³/h)プラントを試作し、模擬調整ガスを用いた実験により、バイオマス由来燃料に対する適用性とともにFCも含めて需給調整が可能であることを実証しています。これまでに想定どおりのシステム運用が可能であることが検証されています(図5)。

4 おわりに

CNESがどこにでもある太陽電池、風力発電機、燃料電池とは違うことをご理解いただけただけではないかと思えます。様々なところで新しいオリジナルの設計概念や技術が取り込まれています。特に重要なことは、異種技術の得意不得意を相互補完した合理的なシステムの追求にあるのです。世間は何かと過去を引きずり、どうしても既成概念からのちょっとした改良でしか物事が進みません。当該プロジェクトを平たく言いますと、「現在あるいは近い将来に持つ技術を使って、ゼロから理想的なエネルギーシステムを創造する」ことです。思い切った変革をする上では、それだけの効果もあると考えています。しかしながら、新技術が確立したとして、その

後社会にどうやって普及させていくかは大きな壁で頭の痛い課題です。交流を直流にする、ガスを水素にするなど、ある時点から突如変わるという訳にはいきません。でも、戸建住宅やマンションはいつでもどこでも新築されており、できることから適用していけば十分でしょう。また、大胆な改善をしなければ大気CO₂濃度上昇が止まるなどあり得ません。本取り組みはこれらの思いの上で推進しているのです。工学的な解決策の一つ(図6)は提示しますが、最終的な選択は人類そのものにかかっています。賢く良い環境を残せるのか、愚かに自滅の道を歩むのか、正にそんな分岐点に差し掛かっているのではないのでしょうか。いつでも人間は得ると同時に失うものが必ずあり、ベネフィットとリスクとのバランスを判断しなければなりません。人に役立つ“工学”とは本当は何なのか苦悩する今日この頃です。

本稿をお読みの皆さんにも、当プロジェクトを見守っていただくとともに、次世代を担うエネルギーがどうあるべきか、環境、経済、生活との関連において、それぞれの立場で考えてみてほしいと思います。

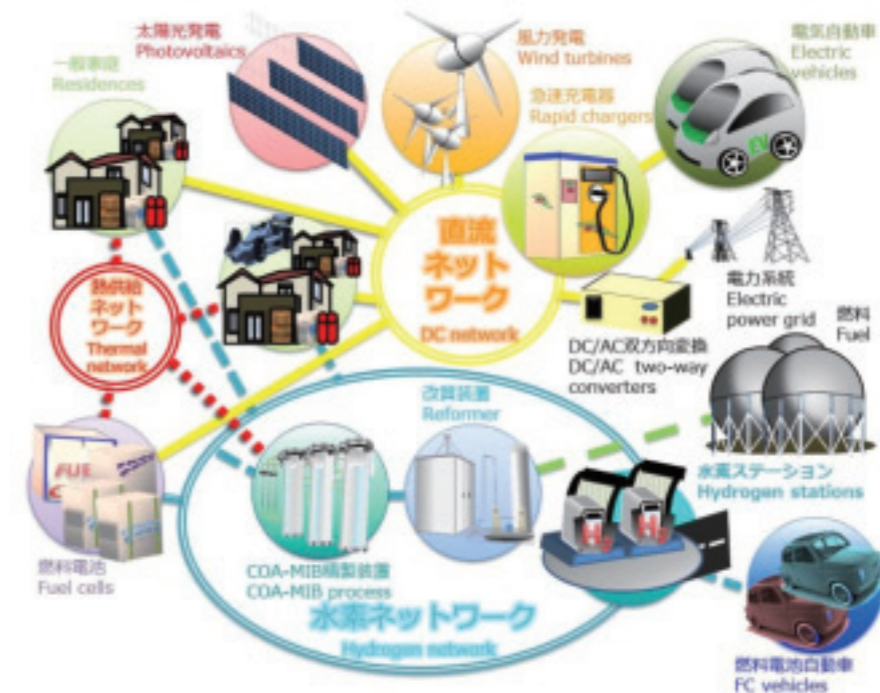


図6 筑波大学が目指すエネルギーシステム

バイオ燃料の地産地消システム

生命環境系 准教授 北村 豊



北村 豊

1 バイオ燃料への期待

再生可能な生物由来の有機資源をバイオマス (Biomass) と言います。バイオ燃料はバイオマスを原料として生産する再生可能エネルギーの一つで、主なものにバイオエタノールやバイオディーゼルといった液体燃料が挙げられます。バイオマスはその生成過程でCO₂を吸収することから、その再生利用を前提とすれば、バイオ燃料の燃焼利用は環境中のCO₂の増減に寄与しません。この考え方は「カーボンニュートラル」と呼ばれ、平成18年3月に閣議決定された「バイオマスニッポン総合戦略」におけるバイオ燃料開発の推進力となってきました。一方、太陽光や風力・地熱などの自然エネルギーは、バイオ燃料とは異なる特性を有する再生可能エネルギーとして、特に昨年の東関東大震災以降、原子力代替への大きな期待が寄せられています。しかし、電気自動車を中心とする交通システムを確立するには、発電・送電・蓄電・車両性能などに課題もあり、まだまだ時間を要すると思われる。世界的には陸上(車両)から水上(船舶)、空中

(航空機)に至るまで、内燃機関(エンジン)を搭載する莫大な数の交通手段が普及しており、液体燃料の供給はまだまだ必要不可欠な状況にあります。

2 バイオエタノールの課題

前述したようにバイオ燃料には、ガソリンエンジン向けのバイオエタノール、ディーゼルエンジン向けのバイオディーゼル、そして最近ではジェットエンジン向け高品質バイオディーゼル(炭化水素燃料)などが知られていますが、当研究室では特にさまざまなバイオマスを原料とすることができるバイオエタノールの研究に取り組んでいます。

バイオエタノールは醸造や製パンでも用いられる酵母が糖を分解して生成するアルコールを無水化したものです。微生物が有機資源を原料として生物的に生成することから「バイオ」と冠していますが、酒類に含まれているアルコールと同じものです。ブラジルは国家アルコール計画により1970年代からバイオエタノール生産に着手しているバイオ燃料先進国ですが、豊富に収穫されるサトウキビが糖を多量に含んでいることが、その国家プロジェクトの成功につながりました。一方、アメリカでは主にトウモロコシを原料としてバイオエタノールを生産していますが、これは糖をデンプンという酵母が直接分解できない形で蓄えています。デンプンを酵母が分解できる糖に分解する工程を糖化と言います。これらサトウキビ・トウモロコシが食料との競合性を問題視されているのに対して、木材や稲ワラ等の食

料用途のない繊維性素材をバイオエタノール原料とすることが検討されてきました。これらの原料は、デンプンよりもさらに強固に結合した糖(セルロース)を溶解させる必要があるため、液化とよばれる強力な分解工程が必要とされます。これらセルロース系素材は食料と競合しませんが、工程が増えるのでバイオエタノールの生産コストが増加する問題があります。

3 バイオマスの特徴

バイオエタノール原料となるバイオマスには可食性の資源作物から非可食性の未利用資源まで様々なものが候補として挙げられていますが、いずれにも共通する特徴として以下が知られています。

- 1) 低密度性および広域性
多くのバイオマスは国内のどこでも調達できますが、広範囲にわたり分布しており、またエネルギー密度が低く比容積が大きい(かさばっている)ことから、収集・運搬して集中的に利用するには多大な労力と時間を要することになります。
- 2) 地域性および季節性
例えばサトウキビは北海道では栽培することはできず、冬季しか収穫できません。同じ糖料作物であるテンサイ(サトウダイコン)は、沖縄では栽培できず、収穫は秋季に行われます。このようにバイオマスの分布は地域的・時期的な偏りがあり、通年で安定した供給を受けることは困難です。

バイオ燃料の生産は、上記バイオマスの特徴を欠

点としてではなく、利点としてとらえて行うことが重要と考えます。すなわちバイオマスの発生する場所(オンサイト)でそれらをバイオ燃料に変換し、その場で使用するという「地産地消」システムを確立するということが、バイオ燃料の実用化に必要な不可欠です。このような視点から当研究室が行ってきた2つのプロジェクトについて簡単に紹介します。

4 飼料用栽培イネを原料とするバイオエタノール生産～新潟県佐渡市におけるライスエタノール研究～

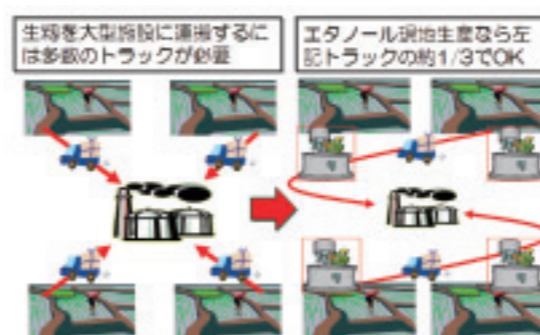
飼料用とは言えコメを燃料化することについては異論もあるかもしれませんが、しかし第一世代のバイオ燃料原料として飼料用イネが国内的には有望と考えられる理由は、1) コメからの高いエタノール生産収率、2) 稲作のわが国気候風土への適応、3) 休耕田や耕作放棄地などの活用、4) 水資源の涵養や景観の維持、5) 食糧用稲作への容易な転換、などが挙げられます。コメを原料とするライスエタノール生産の実証試験地には、新潟県の日本海沖約50kmに位置する佐渡市を選びました。佐渡市は豊富な生物資源を有しながらも、人口の高齢化や過疎化の進行、農村の衰退や都市経済圏からの隔離といった日本の地方が共通して抱える問題に直面しています。休耕田・放棄田の増加は佐渡市でも例外ではなく、これらを活用した飼料用イネの栽培とライスエタノール生成によるエネルギーの地産地消の確立が期待されます。



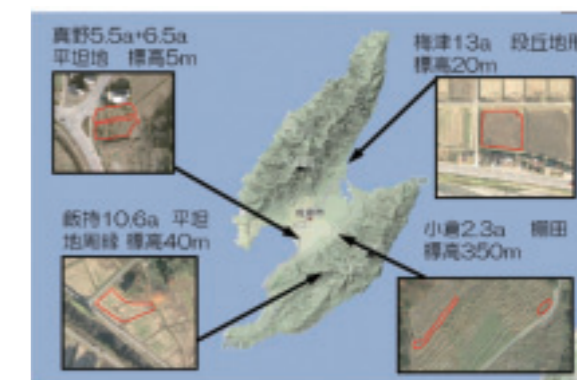
バイオマス利用型社会(日本有機資源協会)



各種バイオマスのエタノール変換工程



バイオ燃料地産地消による利点の例



佐渡市内の実験圃場



資源作物としての飼料用イネからの燃料用エタノール生産を成立させるには、従来の飲料用エタノール（酒類）製造と比較して、コメやエタノールの生産から流通・利用までの工程をできるかぎり効率的かつ省力的に行う必要があります。そこで、国の農業研究機関である中央農業研究センター（北陸センター）や食品機械メーカー、地元佐渡市と共同で一体的な研究を進めました。具体的には、コシヒカリを代表とするような高食味食用米の移植・精密栽培に代えて、多収性飼料用途イネの直播・粗放栽培を行うこと、コメの施設搬入や長期保管利用に代えて、発酵装置のオンサイト設置や短期移動利用を行うこと、機器の季節稼働や単一用途を見直し、通年稼働や複数用途の機能をもたせること、ライスエタノール生産時の副産物を再資源することなどに取り組みました。

本学や研究センター、あるいは現地における試験研究の結果、コメをもみ殻の付いたままバイオエタ

ノール原料とする「全粒糖化発酵法」を確立するとともに、代掻きを行わない水田に種もみを直接散播する「湛水直播」を導入して、低コスト・低エネルギーで生産した飼料用イネ（夢あおば）を用いた可搬型リアクタによるバイオエタノールの効率的生成を実現することができました。可搬型リアクタは、軽トラックで運搬できる軽量小型のものであり、薪や廃材などの木質燃料を直接燃焼して熱源とするため、市内数か所の試験圃場を移動しながら、電気もガスもない中山間地でもバイオエタノールを生成できる特徴があります。報道でもご承知のとおり、佐渡市は「トキ」との共生を目指した環境の島づくりに取り組んでおり、化石燃料の使用量すなわちCO₂の排出量を抑えながら、バイオエタノールの地産地消を目指した本研究プロジェクトは話題となり、多くの報道・関係者からの取材やヒアリングを受けました。



背負い式播種機による直播



可搬型リアクタの攪拌は手動



中山間地での収穫



薪を使った直火で加熱

5 干しイモ加工残渣を原料とするバイオエタノール生産 ～茨城県東海村におけるポテトエタノール研究～

バイオ燃料に最も有利な原料として挙げられるのが、基本的には無償の「有機系廃棄物」です。佐渡でのプロジェクトに引き続き、可搬型リアクタを用いた実証的試験研究の機会を茨城県東海村で得ることができました。茨城県のひたちなか市や東海村は全国的にも干しイモ生産が盛んな地域として知られています。しかし原料イモの皮むき工程においてデンプンを含む残渣（以下、干しイモ加工残渣）が大量に発生します。従来、これらは農地に埋設することによって処理されてきました。しかし、近年近隣住民からの悪臭苦情の増加や畑への過剰な有機物投与による土壌腐敗・環境悪化が深刻になってきています。そこで佐渡で使用した可搬型リアクタに簡易型の蒸留器を取り付けたエタノール生成システムを新たに構築し、干しイモ工場に隣接したポテトエタノール生産を県工業技術センターや干しイモ加工場と共同で行いました。



干しイモ加工残渣

ここでもバイオ燃料の地産地消の考え方が有利に働くことを確認しました。すなわち干しイモ加工残渣は、生粉と異なりすでに蒸した高温の状態で排出されるので、「オンサイト」で受け入れることにより、材料の糊化や昇温に係る加熱エネルギーを節約できました。また試作した簡易蒸留器では高濃度エタノールの留出を長時間維持することは困難でした

が、干しイモ工場という農産加工場に隣接して行うことで、生成される多段階濃度のエタノールを自動車用燃料だけでなく、暖房機の燃焼用や農作物の消毒用などにも有効利用できる可能性が示されました。また蒸留残渣は発酵・加熱により有機物を大幅に減少させていますので、堆肥として安定的に利用できることもわかりました。



旺盛な発酵を示す干しイモ加工残渣もろみ

試験研究終了の目前に東日本大震災に見舞われ、工場排熱の有効利用などの検証ができずに研究は終了することになりました。またコストを要する各種酵素剤の使用量や燃料としての薪の投入量の低減など、干しイモ加工残渣バイオ燃料化にはまだまだ多くの課題が残されていることがわかりました。しか



バイオ燃料地産地消システム



つくばエコシティ推進グループの取り組み

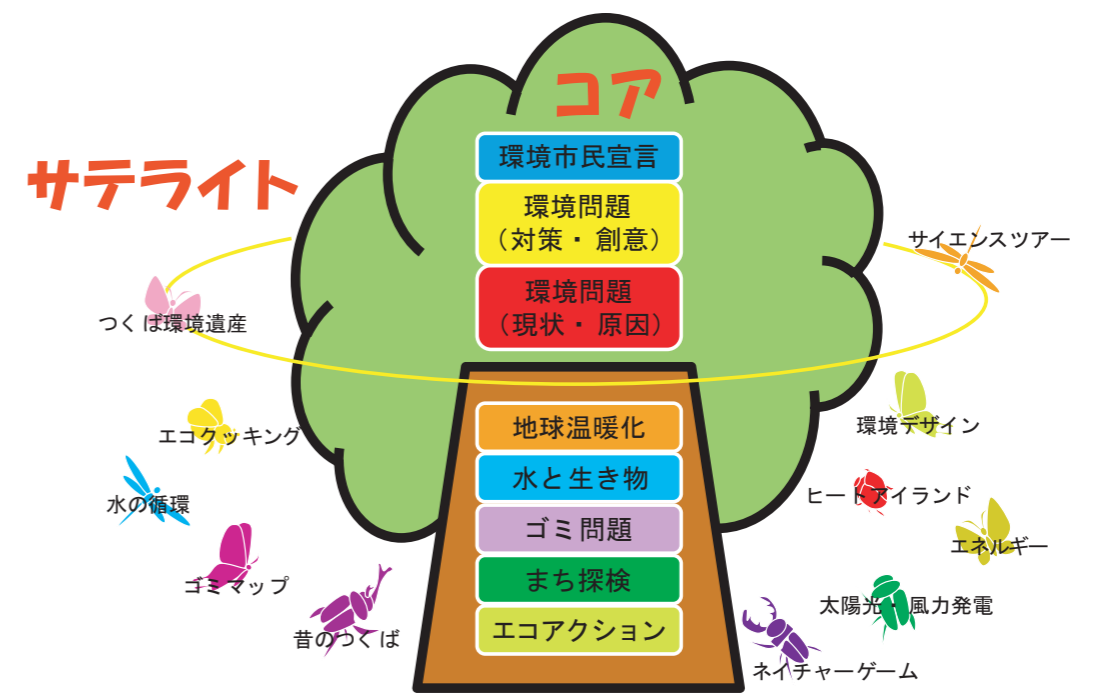
グループ長 学長補佐 生命環境系 教授 井上 勲

し、フェンスひとつ隔てた敷地にそびえたつ東海村原子力研究所に原子力エネルギーのリスクの大きさを感じて、バイオ燃料をはじめとする再生可能エネルギー実用化の意を強くしたのは、私だけではありません。

6 バイオ燃料の環境影響評価

バイオ燃料の普及においては、その生成に要したエネルギーを上回るエネルギーを得られることと、その生成から消費において排出されるCO₂がガソリンのそれを下回ることが絶対条件となります。前者については、本研究のように薪を熱源とした場

合、加熱に要した薪の熱量と生成されたエタノールの熱量が同じだったとしても、自動車には利用できない薪をガソリンに混ぜられるエタノールに変換できることで、その価値を見出すこともできます。しかし、CO₂生成がガソリンを上回っては、環境にやさしいエネルギーではなくなります。そのような点で、佐渡市や東海村で行ったバイオ燃料プロジェクトにおいては、いずれの場合においても、バイオエタノールの生成・消費により排出されるCO₂は、石油から精製されるガソリンのそれを大幅に下回ることが示されました。現在は、システムに経済性を持たせるための様々な方策について、ハードあるいはソフトなアプローチにより取り組んでいるところです。



本学では、つくば市など地域社会との連携協力をすすめる「つくば・地域連携推進室」の下に「つくばエコシティ推進グループ」(グループ長：井上勲学長補佐、生命環境系教授)を置き、環境都市構築のための諸問題や学内の環境意識の向上に取り組んでいます。総合大学である強みを活かし、環境保全、都市基盤、教育・文化、国際化、健康等様々な分野の若手教員が構成員となって、取り組みの提案や実証実験を行っています。各取り組みは、2030年までに一人当たりの二酸化炭素排出量を半減することを目標としてつくば市が2009年に策定した「つくば環境スタイル行動計画」の施策と連携しながら推進しています。

1 次世代環境教育カリキュラムの作成と実践

つくばエコシティ推進グループは、教育委員会、小中学校教員、市民団体等の協力を得ながら、次世代環境教育ワーキンググループ(幹事：山中勤 生命環境系准教授)を組織しました。このワーキンググループで次世代環境教育カリキュラム案を作成し、2010年度に試行実践を開始しました。その後、2011年度には実践校を9校(吾妻中・高崎中・竹園東中・谷田部中・大曾根小・竹園西小・谷田部小・並木小・二の宮小)に増やし、問題点を解消しながら個々の単元について具体的な授業案が作成されました。試行実践の一部は、つくば市教育委員会主催の「つくば市小中一貫教育研究つくば市大会」において発表されました。これらの活動で得られた知見を踏まえてカリキュラムの最終調整が行われ、新設される「つくばスタイル科」の一部として2012年度よりつくば市内の全小中学校に導入されることが決定しました。環境やエネルギーを大切にしている実践的な態度の育成に役立てられます。

いもり 井守も棲める谷津田・里山の復元と 維持管理ネットワークの構築

生命環境系 准教授 千葉 親文

1 背景

関東平野には住宅地に隣接した谷津田・里山が多く点在し、それらのほとんどが耕作放棄地です。近年、谷津田・里山は希少生物の隠れ家として注目され、サンクチュアリとして位置づけられつつある一方、生物多様性の喪失に歯止めはかからず（原因不明）、不法投棄や埋め立ての危険にもさらされています。都市行政や地域住民は、これらを如何に防ぎ、如何にして谷津田・里山の自然を「地域の宝」として次代に残していくか、これらの課題に直面しています。他方、学術サイドも危機感をもっています。例えば、アカハライモリ（赤腹井守）は、我が国固有種で、谷津田に棲む水生動物の代表格であるとともに、発生・再生に代表されるような生命科学の研究・教育に欠かせない実験動物ですが、近年その数は減少し、関東平野ではほとんど絶滅してしまいました（2006年、準絶滅危惧種に指定された）。生物資源の確保の観点から、イモリとイモリの棲む自然環境の保護・保全および研究・教育用イモリの大規模養殖の必要性が叫ばれています。このような現状の中、それぞれの課題を抱えた茨城県取手市（地域住民と行政）と私達イモリ研究者グループ（イモリネットワーク JNRC；筑波大・申請者が代表）は、平成21年10月に「いもりの里」協議会を発足し、課題解決に動き出しました。平成21-22年度に筑波大学社会貢献プロジェクトの支援を受けたことで、取手市貝塚・下高井地区の荒廃した谷津田（約3ha）・里山に、基盤整備以前（昭和40年代）の水田環境を復元し、平成22年11月にイモリを放流するまでに至りました〔経過はホームページ（<http://imori-net.org/>）で公開しています〕。

2 目的

平成23年度（2011年度）の事業では、イモリの棲む谷津田「いもりの里」を舞台に、いもりの里協議会とNPO法人・次世代教育センターが中心となって、取手市行政（まちづくり振興部、他）、教

つくばの子ども達がどのように育つてゆくのか、その鍵は大人世代の連携・連帯にあると考えられますが、このモデルカリキュラムを共有することで学校間・教員間の連携が促進され、また、つくばの地域素材・教育資源を活かした環境教育を実践することで学校と地域の連携も強化されることが期待されています。



授業の様子（二の宮小学校）

活用されるように」とのラグビー部の配慮により、体育センター1階にあるトレーニング室に設置され、利用者に有効活用されています。

また、より早いうちから環境配慮への意識を持ってもらうため、新入生向けフレッシュマンセミナーにおいて、エコステーションの目的、活動内容等を紹介しました。ひとりひとりの学生が生活において、正しくゴミを出すことが、ひいては環境都市構築への貢献につながることを示されました。講義の後には、「ミニエコステーション」において、作業実習が行われました。



飲料容器の種類ごとの専用収集カゴ

2 「エコステーション」による学内資源ゴミリサイクル促進と意識啓発

古紙、缶、ビン、ペットボトルなど、資源ゴミを分別収集し、確実に資源化するため、2010年9月、体芸エリアにエコステーションを設置しました。目に留まる場所に設置することで、資源を持ち込みやすくするとともに、ゴミの再資源化について学内の意識を向上することを狙いとしたものです。当初、エコステーションは試験的に1か所に設置されましたが、収集方法の見直しにより、学内のゴミ集積所（32か所）を「ミニエコステーション」と見なし、学内から搬出される資源ゴミ全てに対応できるシステムに改善しました。

2011年度は、約316t（うち飲料容器は約65t）の廃棄物が資源として売却され、廃棄物削減とリサイクル推進に貢献すると共に、廃棄物処理費用を削減することができました。なお、資源を売却した利益の一部は、学生生活に還元されました。2011年度は、エコステーションの運営に大いに貢献したラグビー部に「スポーツミラー」を進呈しました。ミラーは、「ラグビー部員のみならず幅広い利用者に



ラグビー部へのミラー進呈式

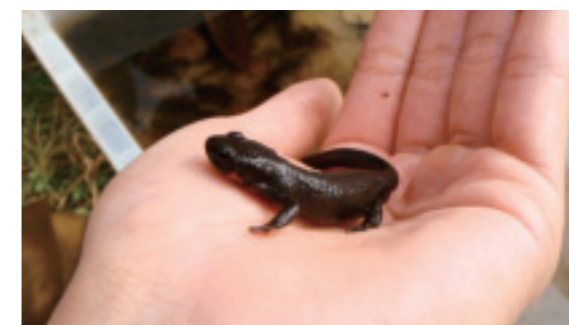


フレッシュマンセミナーの実施

本プロジェクトでは、関東平野にある典型的な荒廃した谷津田・里山（取手市の耕作放棄地）を舞台に、地域住民と行政、学術サイドが一体となって、アカハライモリ（絶滅が心配される日本固有の水生動物）も棲める上質の自然環境を復元する取り組みを通じて、生命環境教育・農業体験・地域産業振興活動などの様々な総合プログラムを展開しています。これにより、農村・都市一体型の維持管理ネットワークを構築し、ここを「いもりの里」（地域の宝/サンクチュアリ）として次世代へ継承していくとともに、国際的イモリ・ストックセンターとして世界に発信していくことが目標です。



いもりの里の春



アカハライモリ（準絶滅危惧種）



育委員会、幼稚園・学校、地域住民（いもりの里フレンドクラブ会員を含む）の協力も得ながら、田植え・稲刈り・収穫祭等の様々なイベントや生命環境関連の様々な総合学習プログラムを展開します。我々は、学術活動（環境・生物相調査および放流したイモリの追跡と生態観察）を中心に、対象地で繰り広げられるイベント・プログラムに参加・協力します。この活動を通じて持続可能な農村都市一体型の維持管理ネットワークを構築することが目的です。

3 成果の概要

平成 23 年度（2011 年度）は、「いもりの里」の環境整備を継続しつつ、移入したアカハライモリの追跡調査をおこないました。その結果、密度は低下してしまったものの、確実にイモリは定着したと考えられます。「いもりの里」を中心に、年間を通じて市民（延べ 560 人）と大学院生・生物学類生（30 人）が様々なイベント・学習活動を行いました。特に、6 月に開催した市民公開講座『今「いもりの里」が大切な理由（わけ）』や 10 月に開催したイベント「収穫祭」等の内容は新聞等でも報道されました。固定会員「いもりの里フレンドクラブ会員」も増え（2012 年 3 月現在、113 名）、持続可能な維持管理ネットワークが着実に構築されつつあります。



市民公開講座のポスター



田植え（5月15日）



夏の夜の灯火採集（8月9日）



稲刈り（9月18日）



収穫祭（10月15日）



本学での学習会「いもりの里親になろう」（2月18日）

☆新聞報道など：

「田植え」日本農業新聞（5/18）；「市民公開講座」読売新聞（6/20）；「稲刈り」日本農業新聞（9/20）；「収穫祭」朝日新聞（10/16）；任天堂 Wii テレビ「とんでもサイエンス（イモリとヤモリの違い）」で紹介；研究者が教える動物飼育（日本比較生理生化学会編集）「アカハライモリ」の章で紹介（2012 年 5 月出版）

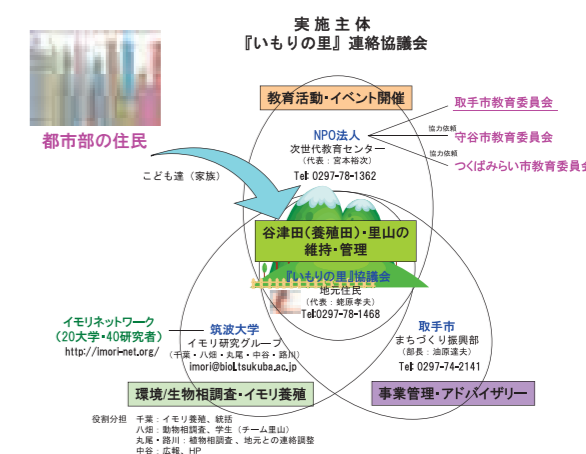
詳しい活動内容や進捗状況はすべてポートフォリオとしてホームページに掲載・公開しています（<http://imori-net.org/>）。

4 地方自治体等との連携

このプロジェクトでは、「いもりの里」協議会（十年会員：いもりの里フレンドクラブ）、NPO 法人・次世代教育センター、および我々筑波大グループ（大学院生・学類生を含む）が中心となって、取手市行政（まちづくり振興部）、教育委員会、幼稚園・学校、都市部からの住民（親子）の協力も得ながら、様々なイベントや総合学習プログラムを行っています。平成 23 年度（2011 年度）には、4 回の農業体験イベント（田越し；田植え；稲刈り；収穫祭）と 5 回の自然観察会（夏の夜の灯火採集を含む）、4 回の里山体験、および取手市役所での市民公開講座『今「いもりの里」が大切な理由（わけ）』と筑波大でのイモリに関する学習会「いもりの里親になろう」を開催しました。また、「いもりの里」協議会が参画する上位団体「貝塚・上高井地区農村環境活用推進協議会」が新たに発足し、現在、「いもりの里」の整備と商標化に取り組んでいます。

筑波大グループは上記の作業やイベントに参加・協力すると同時に、環境整備、生物相調査、および移入したイモリの追跡と生態調査を行っています。特に、平成 22 年（2010 年）夏の干ばつの影響、あるいは平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震後に地下水の水脈が変わったためか、湧水が極端に減少したことから、生物相への影響を軽減するため、平成 23 年度（2011 年度）6 月に井戸ポン

プを設置して用水を循環し、水量・水温の維持に努めました。その結果、調査ごと必ず 1-2 匹のイモリが捕獲でき、さらに腹の模様の違いから調査ごと異なる個体が捕獲されたことから、密度は低下したものの確実に定着していると判断できました。さらに、同年度には作業用の物品を保管するための倉庫を設置し、維持管理を効率化する努力もしました。



5 今後の展開

成体イモリは少数ながら定着しました。今後は、環境や生物相の動態をモニタしつつ、同系統個体群の移入を継続し、定着数の増加を図る予定です。さらに、卵からの正常な発生が可能かどうかを検証する目的で、受精卵や幼生の導入も試みる予定です。これにより、研究・教育用イモリの 2015 年からの供給を目指します。これまでの活動により「いもりの里」の維持管理ネットワークも着実に構築されつつあります。今後、地域の若い力も取り込むことで将来に渡って持続可能な組織にしていかなければなりません。平成 24 年度（2012 年度）には『「いもりの里」をモデル拠点とした谷津田・里山の復元・維持管理ネットワークの実践展開』（代表：丸尾文昭 生命環境系）が本学社会貢献事業として動きます。魅力的なイベントがすでに盛り沢山に企画されています。ホームページをご覧ください（<http://imori-net.org/>）。

環境と調和した循環型社会経済システムを目指して

生命環境系 教授 氷鉤揚四郎



氷鉤揚四郎

1 3つの収支

私たちが目指すべき持続可能な発展という考え方のもとでは、環境のことを考慮しない経済成長も経済性を無視した環境技術も社会に受け入れられることはありません。環境と経済は対立することも多いですが、それらを両立させることは不可能ではなく、そのための政策や科学技術が重要です。そして、同じく重要なことは、そうした政策や技術を、環境面も経済面も含めた判断基準から適正に評価することができるかどうかという点です。それが可能になって初めて、効率的な社会の発展が実現します。当「社会環境システム研究室」では、環境面と経済面の双方を考慮した「総合評価」を主なテーマとして、環境政策や環境技術の評価を行い、環境と調和した循環型社会経済システムを実現させる道筋を探る研究に従事しています。

環境と経済をつなぐものとして考えられるのは、「物質」「価値」「エネルギー」という3つの収支の概念です。環境問題とは何か、という問いに対する答えは数多く存在しますが、自然科学的な観点で言えば、物質収支のバランスが崩れることにより人類、あるいは生態系にとって望ましくない物質が増えること、というのは本質的な答えの一つといえるでしょう。経済システムもまた物質の流通するシステムと考えれば、そこに物質収支の考えを適用することができます。原料や燃料を投入して製品と廃棄物ができる、というプロセスにおいては（核分裂のような例外を除けば）元素レベルでの質量保存則が成立しています。こうした物質の動き（フローバ

ランス)をプロセスごとに押さえていくことによって、環境問題の視点からの問題が見えてきます。

経済性を考えるために必要なものは価値のフローバランスです。経済システムにおいては物質は価値を含んだ商品という形で流通しており、その流れとは逆方向に貨幣の流れが存在しています。このような価値や貨幣の流れも原則的には保存則が成り立っており、それらを解析することにより経済性を評価することができます。ただし、価値には私的な価値と社会的な価値があります。前者は一般的な価値基準ですが、後者は例えば自然環境のように表に現れない潜在的価値を含みます。両者に差があった場合、社会的に価値のあるものが市場で取引されない、あるいは社会的には問題のあるものが市場で取引されてしまう、といった問題が生じます。このことが環境問題の一つの側面になっており、両者の差を埋めて社会的に望ましい状態を達成するためには、例えば環境税のような人為的な政策が必要になります。

もう一つの収支がエネルギーのフローバランスです。一般的にはエネルギーも製品の一種（経済学で言うサービス）と見なされますが、エネルギーは物質ではなく、また物質と違ってリサイクルすることができない（例えばCO₂を燃料にしようとする、と得られる以上のエネルギーを消費してしまう）という特徴を持っています。さらにエネルギーは、化石燃料資源の枯渇問題やそれらを利用した後のCO₂の排出による地球温暖化問題など、今世紀の世界的な課題と深いつながりを持っています。このような理由から、エネルギーのバランスは一つの独立したシステムとして扱うのが適切と考えられます。

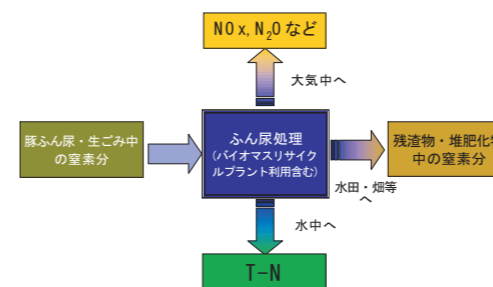
2 総合評価の重要性

現実の社会経済においては以上に挙げた3つの収支が複雑に絡み合っていますが、それらを解析することが当研究室における総合評価の主要な軸になっています。環境問題では特定の物質や元素が重要な役割を果たしているため、それらに着目した解析も

取り入れています。

例えば炭素は、化石燃料やバイオマスなどでは水素などと結び付いてエネルギー源として動いていますが、エネルギーとして利用した後は酸素と結合しCO₂となります。人類が一度に大量の化石燃料を使用したために、大気中のCO₂濃度が上昇し、地球温暖化を引き起こしつつあると言われています。炭素と環境問題の関係はそれだけではありません。水素と結び付いてメタンガスとなればCO₂の20倍以上の温室効果を持ち、少量でも温暖化への影響は大きなものとなります。これは畜産廃棄物を適切に処理しない場合などに発生するため、近年では発生したメタンガスが燃料として利用されたり、堆肥化などメタンガスの発生しない処理方法が用いられています。また、炭素が有機物の形で水系に放出されれば、水質汚濁の原因となります。このように、1つの元素が様々な形を変えて地球環境に影響を及ぼしているのです。

もう一つの重要な元素の例は窒素です。窒素は肥料として、また輸入食料の形で日本に大量に運び込まれています。それらの窒素が廃水として水系に流出すれば富栄養化の原因となり、水質が悪化します。また、土壌中の余剰な窒素からN₂Oが発生しますが、これはCO₂の約300倍もの温室効果を持っています。また、廃棄物として燃やす場合、その条件が不適切であればNOxが発生し、これも大気汚染や健康被害の原因となります。このように、ある廃棄物の処理によって特定の化合物の排出量が抑えられたとしても、異なる形で排出されたのでは



物質収支の例

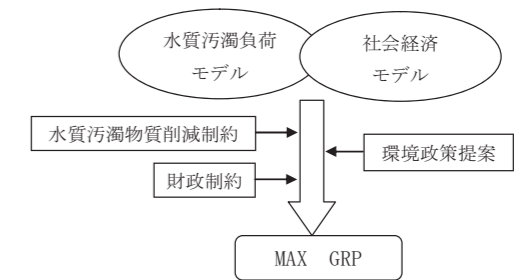
同じ廃棄物処理でも、技術によって窒素はさまざまな形で排出されます。

別の問題を引き起こしてしまいます。それらを総合的・俯瞰的に見て適切な方法を選出すのが総合評価の最大の特徴であり、同時に難しい点でもあります。

3 循環型システムを目指したアプローチ

総合評価の観点から環境問題に対する政策や技術の評価し、循環型社会への道筋を提言することが当研究室の研究内容です。テーマは環境に関することを幅広く扱っており、その内容によって様々な研究方法を取っています。

3つの収支を最も総合的かつ精密に解析するのがモデルシミュレーションを用いた方法です。それぞれの産業や消費者、政府、環境技術部門などを経済主体として、それぞれについて3つの収支を式で表します。その上で、政策や環境技術を表す式を追加します。そのような多数の式からなるプログラムをモデルと呼びますが、当研究室で使われるのは最適化モデルと呼ばれるものです。これは、ある環境目標（例えば温室効果ガス排出量を2000年から10%削減する）を達成しつつ、国内総生産（GDP）や地域総生産（GRP）などで表される経済活動を最大化するために、環境税がどれだけ必要か、あるいは環境技術を普及させるための補助金をどれだけ、またどのタイミングで投入したらよいか、といった数字を求めるものです。このモデルは環境と社会経済の両方の視点を取り入れられていることから、環境—社会経済システムモデルという呼び方もしています。この最適化モデルの利点は、結果が明確な数



環境—社会経済システムモデルの模式図

環境について一定の基準をクリアすることを前提に、最大のGRPを得るためのパターンを求めます。



字で得られるということと、それが最善の結果であることが保証されていることです。現実に政策を実行に移すためには様々な問題があると思われませんが、少なくともベストのゴールを示すことによって、政策決定者が適切な判断を下せるような情報を提供することができます。

より限定されたテーマや対象範囲での解析の場合は、モデルシミュレーションではなく部分的な収支に着目した数値計算を用いることがあります。物質とエネルギーに特化した収支を解析する手法として有名なものにはライフサイクルアセスメント(LCA)がありますが、時にはそうした手法も活用しながらフロー解析を行っています。

一方では、現実に行われている政策や制度などの事例を分析し、それをベースとした望ましい政策や制度のあり方について論説を展開する政策論的な研究も行っています。

4 2011年の取り組み

社会環境システム研究室は筆者のほか受託研究員1名、博士課程20名、修士課程19名、学類生1名、研究生3名による構成(執筆時)で、それぞれが自主的・主体的に研究を進めています。特に近年

では中国を始めとしてアジアからの留学生が増加し、その国籍もモンゴル・ウズベキスタン・台湾・ベトナム・タイ・インドネシアなど、多様化しています。また、社会人学生が多いのも特徴で、30～50代の大学院生が常に在籍し、60代以上で博士課程を修了する学生も当研究室では珍しくありません。これはアジア地域の環境が大きな問題になりつつあると同時に、環境問題をめぐる状況が変化し、社会人にとっても新たに習得すべき学問になっていることを端的に表しているといえます。

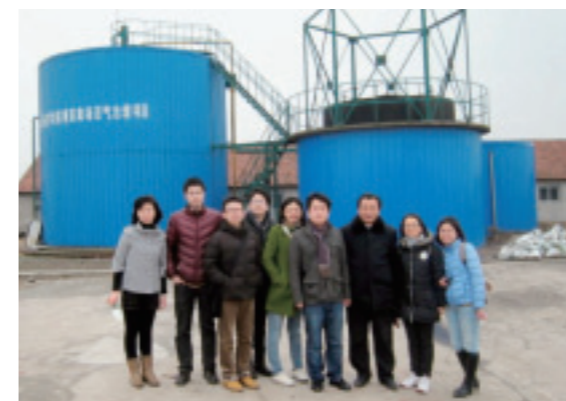
研究室全体での近年の活動では、中国との連携に最も重点を置いています。産業が急激に発展した中国では、同時にさまざまな環境問題が顕在化しています。その多くは廃棄物の処理が適切に行われないことによる水質汚濁や大気汚染で、過去にそのような環境問題を克服してきた日本からの情報は中国の環境問題に対しても有効であると期待されます。当研究室では特に、バイオマスプラントによるエネルギー利用と水質浄化のシステムの有効性に関する研究を従来より行っていました。これは農業や畜産から排出されるバイオマス廃棄物にメタン発酵処理を行うことにより、エネルギー源としてのメタンガスを得ると同時に排水を浄化し、水系の富栄養化を防ぐものです。中国は今や経済と環境負荷の両方の

点で、世界で最も注目される国となりましたが、こうした環境対策技術についての情報とともに、循環型社会についての考え方を伝えることにより、中国での環境対策が進んで行くことが期待されます。



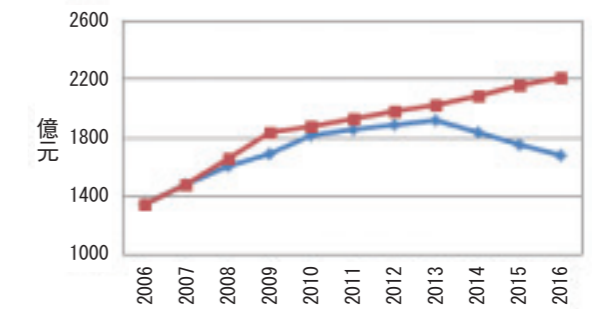
汚水処理場の見学(上海市)
こちらを向いているのが筆者。

現在も、新疆ウイグル自治区との低炭素社会構築プロジェクトや雲南省との水質改善プロジェクトなど、中国とのいくつかの共同プロジェクトに参画し、精力的に活動を行っているところです。その他には筑波大学グローバル30プログラムの一環として、2012年2月に学生とともに江蘇省の汚水処理場や養豚場などを見学し、中国の環境対策技術の現状についての情報を収集しました。この処理場では、養豚場の廃棄物からメタンガスを取り出して排水を浄化する先進的な技術が導入されており、中国の環境対策も急激に進んでいることを実感することができました。



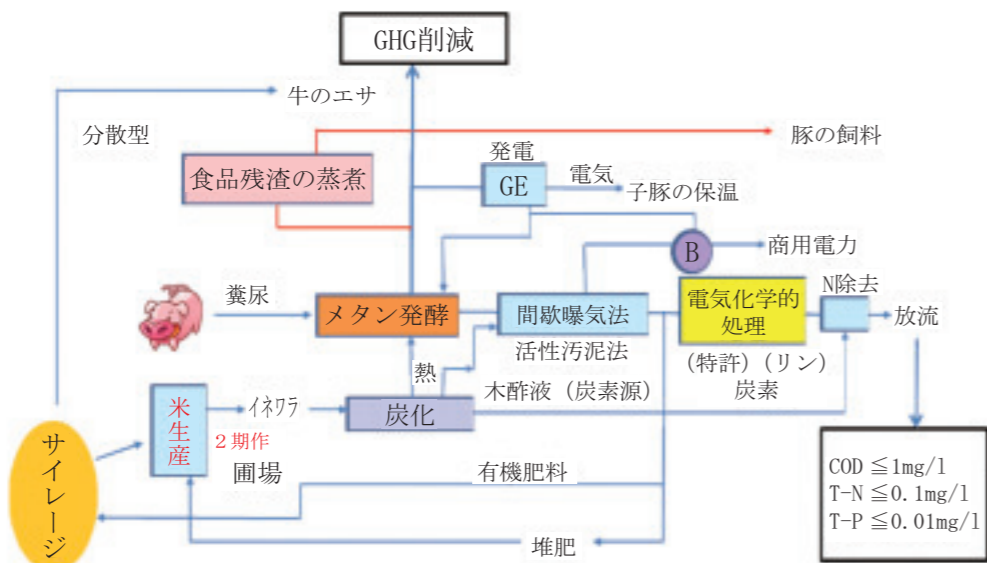
発酵プラントの見学(江蘇省)

個別の研究テーマも、学生の多様性を反映してさまざまなものが取り上げられています。都市あるいは国家単位での環境政策や環境技術の効果を調べる研究が多いですが、中でも中国の各都市や地域に関するものが多く、取り上げられているテーマも排水処理や下水処理、廃棄物処理、金属リサイクルなどの環境技術やエネルギー・低炭素化といった国家規模の政策など様々です。中国の他にもタシュケント(ウズベキスタン)の環境保全農業、ベトナムでの廃棄物処理や湿地保全などについて研究が行われ、日本国内については長年取り組んできた霞ヶ浦の浄化や風力発電から近年のトピックである藻類のエネルギー利用、金属(インジウム)資源に関する政策あるいは情報化の環境への効果まで、多岐にわたる研究が行われています。またこれらの成果の社会への発信として、2011年度は学術論文誌への掲載が8件、国内外での学術大会での研究発表を約40件行いました。



技術普及政策がGFPに及ぼす影響の例
シミュレーションによる将来予測です。青は政策を導入しない場合で、環境目標をクリアするためにGFPを下げざるを得ない状況を示します。赤は環境技術普及のための政策を導入したケースで、経済成長と環境目標を同時に達成するという予測結果を示します。

環境対策技術は日夜進歩しており、技術評価の新しい対象がどんどん生まれています。また、新興国での産業の発展とともにそれらの国の環境問題も発生しつつあり、研究材料には事欠きません。今後も、各国との活発な交流と情報交換により、環境と調和した地域レベルでの循環型社会経済システムのための道筋を追及していきたいと考えています。



環境技術の例(養豚場の廃棄物処理システム)

スポーツを通じた環境コミュニケーション

生命環境系 教授 氷鉤揚四郎



氷鉤揚四郎

1 環境コミュニケーション

近年、環境問題に関係した科学が進み、様々なことが明らかになると同時に、それらの内容は複雑になり、様々な因果関係が絡み合う状況になっています。それに伴って、一般の生活者にとって環境にいい行動は何か、ある行動が環境にいいのか悪いのか、といった判断が難しくなっています。原子力発電は温室効果ガスの排出量を削減する効果が期待されていたのですが、東日本大震災では大量の放射性物質を放出するという事態を引き起こしてしまいました。また、風力発電機が景観の破壊や低周波騒音を引き起こす事例もあり、かつての環境と経済の競合の問題から、環境と環境の競合という問題も一部では起きています。これらのことは、環境問題を考えることが単純でないことを私たちに突きつけた例といえるでしょう。そういった社会的背景の中で、科学技術の発展そのものと同様に、生活者にその内容を理解してもらうことや、ライフスタイルの変革を促進し「行動」への後押しをする「環境コミュニケーション」の重要性が高まっています。2007年に環境省から発行された「環境報告ガイドライン」の序文に「事業者が自らの事業活動における環境配慮の取組状況に関して積極的に情報を公開し、社会からの評価を受け、経営に反映していくための、社会的説明責任や環境コミュニケーションの重要性が認識されつつあり、環境報告書の役割が大きくなってきています。」という記述があることや、環境コミュニケーションの国際規格であるISO14063が制定されたことなどから見ても、環境コミュニケー

ションの重要性は社会的にも十分に認識されるようになったといえます。

環境コミュニケーションは、JIS Q 14063によれば「環境に関する課題、側面及びパフォーマンスについて理解の共有を促進するために、情報を提供及び入手し、並びに内部及び外部の利害関係者との対話に関わる、組織が実行するプロセス」と定義されており、代表的なものはまさに本記事が掲載されている環境報告書になります。その他にも、ウェブサイト、映像や講演など、環境コミュニケーションには様々な手段があり、それらはコミュニケーションツールと呼ばれます。どの手段を選ぶにしても、情報を伝達し相手に何らかの変化を喚起する効果はあると考えられますから、環境コミュニケーションには環境問題への対策としての効果があるはずですが、しかし、どのようなツールが優れているのか、またそれぞれのツールがどの程度の効果を持つのかといった研究はこれまでほとんど行われてきませんでした。

当「社会環境システム研究室」では、環境問題に関する様々なテーマの一つとして、このような環境コミュニケーションの効果についての研究を行っています。

2 スポーツイベントの活用

様々な環境コミュニケーションツールの中で、大きな効果が期待されるものとして着目したのがス



カシマサッカースタジアムでの廃食用油回収
来場客に持参していただいた油でバイオディーゼルを精製しました。

スポーツイベントです。特に、野球やサッカーなどのプロスポーツは、観客の多くが特定の球団を応援する目的でスタジアムに足を運びます。そこで選手たちが環境行動を呼びかければ、メッセージが伝わりやすく、コミュニケーションの効果が大きいのではないかと考えられます。一方、プロスポーツを運営する企業にとっては、スポーツを通じた環境配慮行動を取ることで社会的責任を果たそうという動きが強くなりました。このような背景から、当研究室ではプロスポーツ団体の環境関連プロジェクトに参画し、理論面のバックアップを行うとともに、そこで行われる環境コミュニケーションの効果について研究を進めてきました。これまでに取り組んできたものとしては「鹿島アントラーズ・エコプログラム」があります。このプロジェクトは、カシマスタジアムに来場する観客に廃食用油を持参していただき、それを回収してバイオディーゼルを精製し、チーム・トラック(試合などの移動時に荷物を運ぶトラック)の燃料として使用するものです。主原料である



映像を見せながらのアンケート
選手によるプロモーション映像を見て、観客の意識がどの程度変化するかを調べました。

廃食用油が植物由来であることからカーボンニュートラル効果が期待できるバイオディーゼルですが、収集の際に自動車等を使ってしまうとその効果が相殺されてしまいます。このプロジェクトでは廃食用油を「ついでに」回収することでその問題を解決するという優れたアイデアに基づいたものですが、運搬の負担をお願いすることから、参加する観客の理

解が必要となります。そこで事前に、ウェブサイトやマスメディア、チラシ、スタジアムビジョンなどを利用した告知を行うことで、理解を促進するとともに、そうした告知を行う前後でアンケートを実施し、プロジェクトに対する意識がどう変化したか、また日常的な環境意識がどの程度変化したかを調べました。その結果は、プロジェクトによって削減されたCO₂排出量約800kgのうち、選手の呼びかけによって増加した分が78kgあると考えられることや、チラシやプロモーション映像などの環境コミュニケーションによって、プロジェクト自体への参加意識だけでなく、日常の環境意識にもプラスの影響を与えると考えられること、またそれはチラシよりも映像で効果が明確であること、などさまざまなことが分かりました。その他には、日本野球機構の「グリーンベースボールプロジェクト」に協力しました。このプロジェクトは、プロ野球公式戦の試合時間を短縮し、節電効果を上げることを目的としていますが、試合時間と消費電力の関係を解析し、1分当たりの消費電力を推定する作業を担当しました。消費電力には試合時間の他にもさまざまな要因が影響を及ぼしていますが、重回帰分析を用いて試合時間の影響だけを抽出し、試合時間1分あたり約36kWhという推定値を求めました。この数値はプロジェクトの効果を計算する時の根拠として用いられました。



グリーンベースボールプロジェクトでの記念植樹式
右はソフトバンクの斉藤和巳投手(現コーチ)。プロジェクトには当研究室で算出した数値が活動の基準となりました(日本野球機構サイトより)。

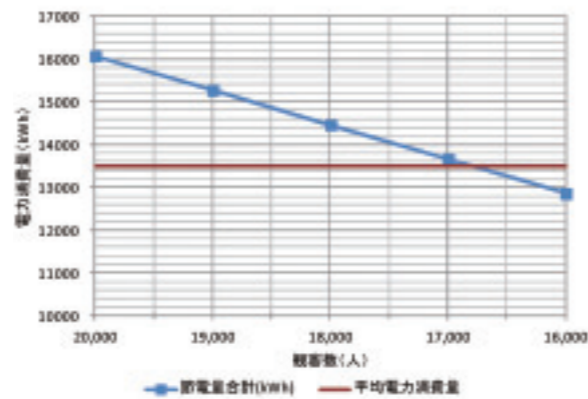
3 2011年の取り組み

2011年3月には東日本大震災とそれに伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、関東地方の電力需要がひっ迫する事態となりました。震災直後のプロスポーツの開幕の時期について議論が巻き起こったことに象徴されるように、多くの電力を消費するスポーツイベントを電力需給の厳しい状況の中で実施することの意義が大きな注目を集めた時期でもありました。そうした中、埼玉西武ライオンズでは新しい視点からスポーツと消費電力の関係を捉え、「埼玉西武ライオンズ節電プロジェクト」を2011年の夏に実施しました。その内容は、自宅を留守にして家族全員で観戦に訪れることにより、日頃家庭で消費されている電力の節約を促進するというものです。この考え方は当研究室の主要なテーマである「総合評価」にも沿ったもので、スポーツイベントの電力消費を考えるとときにはそれによって削減される電力も含めてすべてを考慮する必要があるという発想に基づいたものです。そこで、8月から9月にかけて、国立環境研究所、埼玉西武ライオンズ、博報堂DYメディアパートナーズとの共同により、西武ドームに会場した観客に対してアンケート



西武ドーム前でのアンケート調査

調査を実施し、スタジアムでの野球観戦による間接的な節電効果の評価を行いました。また、節電キャンペーンを選手や監督が大型スクリーンで呼びかけることにより観客の日常的な環境行動が変化するかどうかという、環境コミュニケーション効果についても同時に評価しました。節電効果の推定の際は、スタジアムに会場せず自宅にいた場合、エアコンを6時間、照明を4時間、テレビを4時間使用すると仮定し、観戦に来ることによってそれらの分の消費電力が節約されると仮定しました。さらに、アンケートで会場時に自宅のコンセントを抜いてきたと回答した分についてはその節電量も加味しました。アンケート結果からは、ある想定された条件のもとでは、観客が一定数を超えると節電効果が球場での消費電力を上回ることがわかりました。

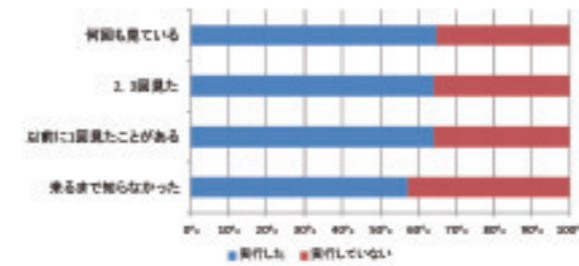


プロ野球の観客数と節電効果の関係
観客17,000人以上でスタジアムの消費電力よりも家を空けることによる節電効果が上回りました。

日常的な節電行動についての節電キャンペーンでの環境コミュニケーションの効果は、呼びかけを見たことがある人と見たことがない人では有意な差があり、呼びかけによって節電行動を実践する人の割合が7~8%増加したと考えられます。ただし、LED電球の設置など費用を伴うもの、エアコンの設定温度を変えることなど元々の実行率の高い項目では差が見られないことがわかりました。

アンケートにあたっては大学院を含む学生たちが

主体となって精力的に活動しました。時には天候が崩れる中、またいろいろなお客さんがいる中で、趣旨を説明しつつアンケートを実施することは、彼らにとっても社会参加のよい経験であるとともに、来場客に対する一種の環境コミュニケーションになったと思われれます。



節電キャンペーンのプロモーション映像を見た回数と節電行動の関係
見たことのない人と見たことのある人では統計上有意な差が見られ、スポーツを通じた環境コミュニケーションに効果があることがわかりました。

4 おわりに

プロスポーツは一般的には、エネルギーを浪費する存在として捉えられがちです。しかし、振り返ってみれば昨今の省エネルギー意識の高まりには、プロ野球やJリーグの選手たちを始めとするスポーツ界の貢献度が小さくないのではないかと考えられます。環境問題の複雑さはスポーツも例外ではなく、スポーツイベント=エネルギー消費という単純な図式で捉えたのでは本質を見誤る可能性もあります。当研究室はそうした、ものごとの一般的な見方とは別の側面も見ることで、全体像を把握したいという探究心を持っています。それが総合評価の考え方であり、特に環境問題についてはそれが必要であると考えています。

また、スポーツの環境コミュニケーションについての今後の課題としては、情報の受け手である消費者・生活者の日常的な行動パターンをさらに詳しく把握することで、コミュニケーションの効果をより明確に解析することができるようにしたいと考えています。



農林技術センターにおける 環境問題の取り組みと社会貢献活動

農林技術センター技術室 技術専門官 米川 和範



米川 和範

農林技術センターは、筑波大学開学とともに、全学共同利用施設の一つとして設置されました。他大学における類似の附属施設に比べてユニークな点をもっています。例えば、全国で初めて農場と演習林、それに関連附置研究所を統合した施設で、フィールドサイエンスを指向した本センターがたどってきた道筋は、国立大学附属施設改組のモデルケースとなりました。



兵太郎池

1 農林技術センターにおける研究活動

農林技術センターでは、教育研究、国際交流、普及啓蒙、農林生産ならびに事務などの業務全般の活動を通じて環境問題に積極的に取り組んでいます。くわえて現在、以下のような環境問題に関連する研究も推進しています。

- 複合生態系を高度に利用し、低温室効果ガス放出生産体系に基づく農村モデル構築と評価に資する研究プロジェクト「地球環境変動下における地

域農村生態系の炭素循環評価モデルの構築と国際協力への貢献」では農林技術センター各所にセンサーを設置して大気中CO₂濃度を定時観測し、バイオマス生産の指標となるCO₂動態を常時解析しています。

- 東日本震災復興・再生支援プログラムとして「広域被災地の農業復興に向けた放射性物質の移行モニタリングと芝生等被覆作物による土壌中の放射性物質の物理的・生物的防除と減量化」をアイソトープ総合センターの協力により核種の計測を行っております。
- 地球環境再生研究プログラムとしての中部山岳地域の生態系、水循環、水資源、農業環境、生活環境に及ぼす温暖化影響の評価を行っており、ハケ岳演習林、井川演習林、筑波実験林に活かした気象、生態、森林の長期モニタリングを推進しています。

2 兵太郎池の環境改善に向けた水質及び生物相の把握

今回は環境問題に関する研究の中から筑波大学構内兵太郎池の環境改善の実行と水質及び生物相の把握について取り組んだ事例を紹介します。



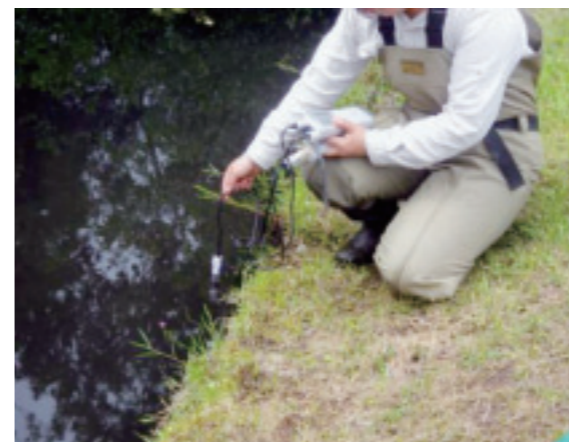
成長量を計測するためソウギョ捕獲

筑波大学構内は雨水等の排水を行なうための5箇所の排水区があり、それぞれの末端には時間差排水のため調整池が設けられており、こうした調整池はカモ類など多くの生物に利用されています。



捕獲したソウギョに標識取り付け

また、筑波大学構内には敷地の1/3にあたる80haの緑地があり、筑波大学保存緑地地区として自然保護緑地、周辺保護緑地、利用緑地の3種類を設定し、それぞれの管理方針によって管理されています。これらの緑地内には、キンラン、ギンランなどのレッドリスト種が生息しています。このように緑地や調整池は筑波大学構内の生物相に貢献していると考えられます。その内の一つとして、北地区に兵太郎緑地と呼ばれる約6haの利用緑地があり、その中に兵太郎池と呼ばれるL字型の調整池があります。



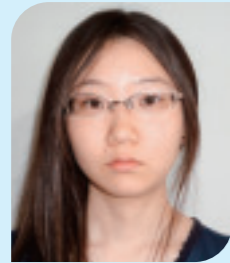
池のpH測定

兵太郎池は元来の谷津田を広げて造成されたもので東西2つの池から構成されています。調査地である東側の兵太郎池は周囲約550m、面積約

0.3haです。兵太郎池西側の周辺は既存アカマツ林の保存が図られると共にコナラ、クヌギ、ヤマザクラ等が植栽されています。兵太郎池東側は農林技術センターが管理をしている植物見本園の北側部分を占めており、植物見本園の一部として利用されているほかその水を植物見本園や水田に循環させて利用しています。近年、兵太郎池は5月～10月にかけて溶存酸素量(DO)が1mg/l以下と著しく低下しています。また、水は黒く濁り悪臭が漂い、ヘドロが溜まり水深が浅くなってきています。さらには観賞用として植栽された園芸品種のスイレンが増殖し、水面の大部分を覆っています。アメリカザリガニやウシガエルなど外来種がはびこっているなど問題が指摘されています。一方で、在来種と考えられるドジョウやギンブナ、コイなど農林技術センターでは筑波大学開学以前にこの地域に点在していた池と湿地性生物の再現の場とすることを目標に2008年から水質と生物相について調査を行なっています。この一環として調整池に繁茂する外来スイレンのソウギョ導入による抑制を目的に行なっています。コイ科植食魚類のソウギョは好んで水草を食べ、水草駆除を目的としてヨーロッパや米国で導入されており、植生としてほとんどスイレンしかない環境下でソウギョによってスイレンの繁茂が抑制できるのか検証すること、本格的長期的な利用に先立って問題点を抽出すること、スイレン抑制の結果として溶存酸素量(DO)濃度の上昇を期待できるかどうかを確認することを目的に行なっています。これまでの生物捕獲調査では、種数では昆虫類が最も多く、特にトンボ類のヤゴや成虫が多く捕獲されました。また、ドジョウやスジエビ、マシジミといった在来種が確認することができました。一方で最も捕獲数の多かったアメリカザリガニは季節を問わず捕獲されました。このように、在来種の生息が確認される一方で、外来種が多く生息していることも確認されました。今後は外来種への対策も考慮した維持管理方法の策定が必要であると思われる。

学生団体 筑波大学環境コミュニケーションラボの活動

社会・国際学群 国際総合学類 3年次 金子 郁代
 社会・国際学群 国際総合学類 2年次 中前 千佳



金子 郁代



中前 千佳

1 What's 「環コミュ LAB」

環境政策や環境技術の理解・合意、促進に欠かせないのが環境コミュニケーションです。この領域の必要性は感じていても国内での研究者・専門家は希少でノウハウが学べないという実情がありました。

環境コミュニケーションラボ(環コミュ LAB)は、環境科学研究科 OB で環境コミュニケーションプロデューサーの杉浦氏(博士:環境学)が大学院・生命環境科学研究科博士課程に戻ってきて、2007年6月より活動を開始しました。活動としては、「環境/CSR コミュニケーションの(事例)研究」「環境/CSR コミュニケーションの実践」の2点を中心課題として月2回程度の勉強会および、ブレインストーミングを実施しています。そして、「オリジナルでオモシロイ驚き発想をめざして!」をモットーに企業やNGO、自治体や国の「環境コミュニケーション」与件に対してプロジェクトを企画・提案し、実際に制作・運営に携わることでスキルを磨き「実践者」として経験を積むことを目標としています。メンバーは大学院の環境系大学院生を中心に



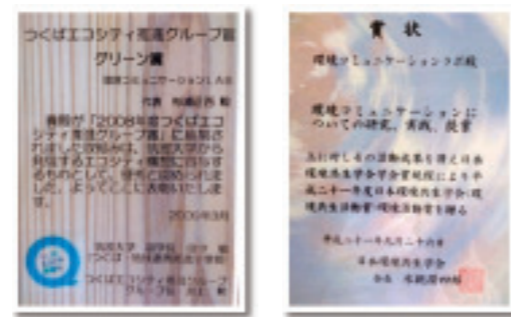
エコプロダクツ展筑波大ブース前で

に、文系・理系・医学系・体育系・芸術系の学生、大学教員、周辺研究所の研究者など多様で、つくばの学際的特徴を存分に活かしています。現在、現役メンバーは10名弱ですが、卒業生も含め40人程度がメーリングリストを通じて情報交換しています。

2 Achievements

◆2009年

- 2008年の企画を継続して開発し、「つくばエコシティ推進グループ賞」と「日本環境共生学会環境共生活動賞」をダブル受賞しました。



- エコプロダクツ 2009 に出展しました。

◆2010年

- エコプロダクツ 2010 に出展し、この年から会場内の企業ブースで展開される環境コミュニケーションを評価する「勝手評価」を開始しました。
- サス塾プロジェクト(susjuku.jp)への参加として、環境、社会、経済のトリプルボトムライ

ンを意識し、子供向けサステナビリティ教育の実践の場である「サス塾」と教材開発コラボレーションを開始しました。

◆2011年

- 2008年に発案した「カンフー摩擦」が各種メディア(各種新聞、NHKおはよう日本、TBSはなまるマーケットほか)で紹介されました。
- 環境コミュニケーションの学習会では、杉浦氏の博士論文を教材に環境コミュニケーションの歴史・体系やそのあり方、マネジメント、評価手法を学びました。
- 大手広告会社とのコラボレーションで、西武ドームにおけるエネルギーキャンペーンに計測スタッフとして参加しました。
- エコプロダクツ 2011 に出展し、第2回「勝手評価」を実施しました。

3 LABで学んだこと(歴代メンバーから)

- 山本泰弘(2010 国際総合学類卒/現・京都大学地球環境学大学院修士課程)
「アイデアの創出とその実践・売り込み」の道場でした。レジ袋、ボトルキャップ、節電…「環境」をネタとして、世の中をおもしろくする実験を重ねてきた感じです。——俺たちの実験はこれからだ!
- 忽那一平(2011 年医学類卒/現・京都民医連中央病院研修医)
医学類という特殊な学類に所属していたため、ビジネス・環境活動の分野との接点は希薄でしたが、エコプロダクツ展への出展等のアウトプットを通して社会の仕組み・流れを多角的に捉えられるようになりました。
- 市川絵理(2012 年国際総合学類卒/現・会社員)

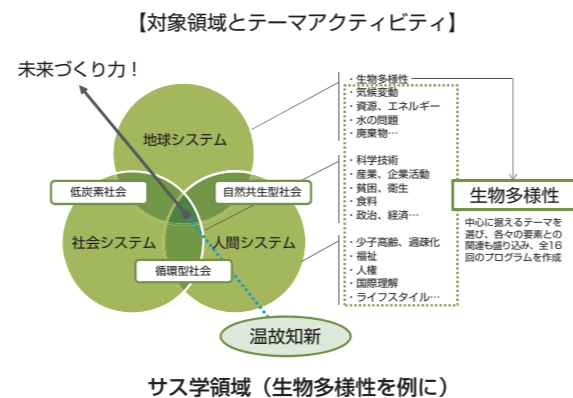
環境問題は興味のある人だけが行動しても解決しません。興味のない人をどううまく取り込んでより多くの人に行動してもらえるか、そのために環境コミュニケーションは必須であるとLABでの経験を通して感じました。

- 根本和宜(現・筑波大学大学院生命環境科学研究科博士課程)

私にとってLABは環境コミュニケーション評価を「実践の中で」学ぶ場です。レジ袋削減や省エネ等の人々の行動要因について、企業や研究者の方との協働で考え調査し、学会で発表する機会まで経験することができました。

4 今後の活動

今年は、「環境コミュニケーション」をソーシャル/CSR(企業の社会信頼)コミュニケーションまで拡張して捉え理解することを目標に、初期段階として4月からCSR活動に関する学習会を開始しました。また、学習塾および学童保育の場において、メンバーのインターンシップを開始します。ここでは、子どもにサステナビリティ学(社会問題や社会の持続性を扱う学問)を教えることを通じて、環境コミュニケーション手法の在り方に関するより深い理解と実践的スキルを習得することを目指します。また、筑波大学環境コミュニケーションラボは、メンバー以外の学生に向けてもミーティングや勉強会を公開することで、より多くの方に当サークルの活動やその背景となる社会的な問題に関心を持っていただきたいと考えています。今後も、インターネットのソーシャルメディアやポスター掲示等で広報を積極的に行うなど、他の学生との良好なコミュニケーションを図っていききたいと思います。



3Ecafe プロジェクトチームの活動

3Ecafe プロジェクトチーム



2010年学園祭準備

1 団体紹介

1-1 つくば3Eフォーラム

2007年、つくば市は「2030年までにCO₂排出量を50%削減する」という目標を立てました。そして、この目標を達成した環境都市像を「エコシティつ



くば」と名付け、それを実現するためのプロジェクト「つくば3Eフォーラム」を立ち上げました。「3E」は、それぞれ「環境 (Environment)」、「エネルギー (Energy)」、「経済 (Economy)」の3つの頭文字を指し、環境都市づくりにおいて非常に重要なキーワードです。また、このプロジェクトには大学、研究機関、そして自治体が参加しています。

1-2 学生が実現するエコシティつくば

つくば3Eフォーラム設立の動きを受け、同年、

筑波大学生有志によって「3Ecafe プロジェクトチーム」が結成されました。その目的は、「エコシティつくばの実現のために学生の立場から取り組むこと」です。環境問題とまちづくりは、どちらも様々な研究分野や様々な立場が関わっています。特にまちづくりにおいて、地域の人々が一緒になって問題に取り組み、協力しあうことが重要です。私たち「3Ecafe プロジェクトチーム」は、学生という立場を活かして「人と人をつなげる」役割を担っています。

1-3 主な活動

私たちの主な活動は、「3E」や「エコシティ」に関する話題で参加者同士が語り合い、情報共有をする交流企画「3E カフェ」を企画・運営することです。この企画には、学生や一般市民から研究者、つくば市役所職員まで、様々な人が参加します。また「3E カフェ」の形式も1つではなく、話題や参加者の層に合わせて異なる形式をとります。例えば、「3E」・「エコシティ」に関する分野の専門家をゲストとしてお招きする講演形式や、ゲストの話題提供後に参加者同士で話し合う場を設けるグループトーク形式などです。また、この企画で得られた意見は、企画書にまとめて実際にプロジェクト化したり、ポスターを作って発表したり、つくば市やつくば大学などに対して施策として提言したりというように、環境都市づくりのための提案・実行支援という形で発信しています。

その他、他の環境都市や、環境問題に熱心に取り組む他大学などへの視察も活動の1つです。



3E カフェ (テーブル毎に議論)

2 活動紹介

2-1 Let's ちゃりレボ プロジェクト

2-1-1 プロジェクトのきっかけ

環境にやさしく、健康増進にもつながる自転車の利用に注目が集まっており、エコシティの実現を目指しているつくば市でも快適で安全な自転車の利用を促進すべく様々な取り組みが行われています。そして、広大な敷地面積を誇る筑波大学の学生にとって自転車は必須アイテムであり、多くの学生が入学と同時に自転車を購入し、利用しています。しかし一方で自転車の盗難、事故や違法駐輪といった自転車に関する様々な諸問題が実在することも確かです。そこで自転車と切っても切れない筑波大生ライフを、より快適で安全なものにするべく本プロジェクトを立ち上げました。

2-1-2 プロジェクトの活動内容

①アイデアの収集

自転車の利用に注目が集っていることに加え、つくば市は毎年多くの入学者や社会人を受け入れており、今後も多くの自転車利用が見込まれます。しかし、これまで自転車利用に関して産学官民が連携した話し合いは行われていなかったと考えられます。そこで、第12回の3Ecafe企画として「Let's ちゃりレボ ～考えよう自転車のまちつくば～」と銘打ち、つくばで新生活を始める人向けに快適な自転車生活を送るための具体的なアイデアを産学官民のゲストと豊富な参加者で考えました。

②アイデアの研磨

3Ecafeの中から生まれた魅力的なアイデアの種を、3Ecafeプロジェクトチームメンバーを中心に関係者へのヒアリング、調査や連日のミーティングを通して具体化させ、ちゃりレボ企画として「自転車メンバーシップ」「高性能自転車試乗会」「ちゃりシェアリング」という3つの柱をつくりあげました。

③アイデアの実行

3つの具体的なアイデアの内、「高性能自転車試乗会」をつくば環境フェスティバルにて実行しました。本イベントを開催するに当たり、つくば市役所の方や協賛企業の方など、各方面から本当に多くの支援を頂くことで実行まで辿り着くことが出来ました。3Ecafeとしてアイデアや意見の収集はこれまでも行ってきましたが、今回のように実行段階まで落とし込むことは少なかったです。しか企画から運営までを主体的に活動したケースは今回が初めてだと思います。



高性能自転車試乗会

2-2 「エコつくー学生がツクるエコシティつくばー」

2012年2月15日、第2エリア総合研究棟A棟107号室で第16回カフェを開催しました。この企画は、「エコシティつくば」を目標に掲げるつくば市の一員として、学生の立場から自分達の出来ることを考え、見つけることを目的としています。また、この話し合いに参加することで学生がつくばの将来を自身の問題として考え、これからのまちづく



3E カフェ (ゲスト講演)



りに参加するきっかけを作ることも狙いのひとつでした。ここでは、参加者にとって自分の意見を言いやすい環境を整えるために、少人数でのグループトークを主体とした内容にしました。想定人数は15人でしたが、当日はその通りの人数が集まり、活発な意見交換が行われました。

グループトークをするに当たり、今回はつくば市の作成したガイドライン「つくばスタイル」をもとにグループを「環境教育」、「交通」、「田園空間」、「実験低炭素タウン」の4つに分けました。3Ecafeプロジェクトチームのメンバーによる話題提供の後、途中で4グループ全体でのアイデア共有と意見交換を挟みながら、それぞれのテーブルで話し合いを行いました。そして、約1時間半の短い話し合いの中で、各グループで得られた意見の内実現したい企画を簡単な企画書にまとめてもらいました。



施策の研磨

低炭素タウングループからは、規格外の野菜を廃棄せずにつくば市内の学校給食やレストランで利用するために農家と外食産業・地方公共機関を繋げる地産地消システムを構築するプロジェクトが提案されました。環境教育グループからは、「環境問題の本質や、環境教育とは何かが分かっていないまま環境教育と銘打った活動が行われがち」という指摘のもと、教育する立場にある人々が環境教育に関わるそうした問題を深く考え、議論する場としての勉強会の提案がされました。学生が、勉強会を企画・運営すると共に参加者として共に学び、更に子供やより多くの人々を巻き込むようにします。田園空間グ

ループからは、つくば市の田園空間づくりをする個々の団体同士を繋ぐ仕組みを作り、より効果的に活動できるようにするという案が出されました。交通グループの提案は、自転車で買い物に行くと店舗で割引などのサービスが受けられる「駐車券特典システム」です。これは、環境に優しい乗り物である自転車の利用を促進するための考えです。

これらの企画は、これから更に話し合いを重ねて、実際にプロジェクト化するつもりです。そういった意味では、この企画はこれからの展開がとても楽しみな企画だと思います。



施策の発表

2-3 視察

3Ecafeプロジェクトチームでは、環境保全およびCO₂排出量削減に先進的に取り組む他都市や他大学へ、視察メンバーとして派遣される機会があります。現地の方々と交流しながら取り組みを見聞きし、筑波大学やつくば市での環境保全や低炭素社会システム構築への施策立案と行動計画へのヒントを得ます。



ポートランド大学の視察

2010年10月、環境先進都市として世界的に有名なアメリカ合衆国オレゴン州ポートランドをメンバー2人が視察しました。ポートランドは「CO₂排出量を2050年までに80%削減する(1990年比)」という大きな目標を掲げ、多様な政策を実行しています。取り組みと成果の内外への積極的アピール、行政・大学・市民間の連携が、つくばでも見習いたい最大の強みでした。



三重大大学の視察

2012年2月には、第2回エコ大学ランキング第1位の三重大大学へ視察に行きました。環境ISO学生委員会という学生団体を中心に、教職員との協力体制のもと多様な活動を行っていました。エコキャンパスを目指す上ではまず学生の環境意識の向上が重要だということがわかりました。

3 今後の展望

活動5年目となった私達3Ecafeプロジェクトチームは、更に機動性の高い組織を目指して組織編

制の改革をしています。事務作業にかかる手間を減らすことでメンバーの負担を減らし、その分プロジェクトに時間をかけられるようにしています。

団体発足当時から開催していた3Eカフェはこれからも継続し、より多くの方に環境やつくば市に関心を持っていただきたいと思います。また、試乗会のように議論から生まれたアイデアを実行し、学内だけでなく学外にも良い影響を広げていきたいと考えています。現在でも実行のために練っているアイデアが幾つもあり、将来役立てることが出来ればと考えています。また、実行のために他の団体との連携が必要であれば、積極的に連携していきたいと思っています。また、HPやTwitter(アカウントは3Ecafe Project Team)でも広報していますので、宜しければご覧ください。

これからも筑波大学やつくば市との連携をしつつ、来場者にとってもメンバーにとっても学びの場であり続けられるように歩み続けていきたいです。



附属学校の活動状況

社会科学習から学級総合へ、そして、ボランティア活動へ(筑波大学附属小学校の活動状況)

筑波大学附属小学校 教諭 都留 覚



都留 覚

1 自分たちにできる活動は

小学校4年生の社会科学習で、「廃棄物の処理」について学習します。

地域の人々の生活にとって必要な廃棄物の処理について、自分たちの生活や産業とのかかわりや廃棄物処理の事業は計画的、協力的に進められていることを見学、調査したり資料を活用したりして調べ、廃棄物処理の事業は地域の人々の健康な生活や良好な生活環境の維持と向上に役立っていることを考えるようにする学習です。

本学級の子ども達は、この学習で

- ・リサイクル(再生利用)
- ・リユース(再使用)
- ・リデュース(消費削減)
- ・リペア(修理)
- ・リフューズ(購入拒否)

などについて学習しました。

その結果、子ども達の中から「自分たちにもできることをやりたい」という意見が出たので、「小学生でも参加できる運動」を手分けして探すことにしました。

2 ペットボトルキャップを集めよう

子ども達と話し合った結果、ペットボトルキャップの回収運動を展開することに決めました。

次に、活動の進め方を話し合い、次の活動を展開していくことにしました。

- ・児童朝会で、全校に協力を呼びかける
- ・自分たちだけではなく、家庭でも協力を呼びかける
- ・家の近所の人達にも協力を呼びかける。

集まったペットボトルキャップは、教室に保管しておいて、一定の量になったら、みんなで手分けして回収工場へ持って行くことにしました。

3 回収工場へ持って行こう

自分たちの手で、集めたペットボトルキャップを工場まで持っていきました。



集めたペットボトルキャップ



工場で話を聞く子ども達

1年間で集めたペットボトルキャップの数は、約14,400個でした。800個のペットボトルキャップでポリオワクチン1人分ですから、18人の子ども達の命を救えることになりました。

4 もっとたくさん救いたい

全校に活動を呼びかけることで回収数が増えることが分かった子ども達は、次に、ペットボトル回収のボランティア委員会を立ち上げて、全校に呼びかけることにしました。

そして、廊下やホールの隅に自作のペットボトルキャップ回収箱を置き、全校に呼びかけました。

毎週月曜に回収し、保管して、半年したら回収工場へ持って行くことにしました。

半年で集まったペットボトルキャップの数は、約20,000個でした。

25人分のワクチンに変えることができるので、通算として、

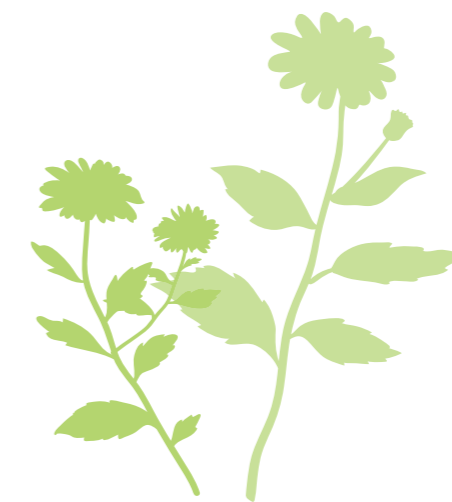
43人分のポリオワクチンを送ることができた

ことになりました。

この結果は、全校朝会で全校の児童に報告しました。そして、これからもペットボトルキャップの回収に協力してもらえるように呼びかけ、今も、子ども達の回収活動は続いています。



キャップの整理を手伝う子ども達



附属学校の活動状況

筑波大学附属視覚特別支援学校における環境教育の取り組み -小学部4年生の社会より-

筑波大学附属視覚特別支援学校 教諭 大財 誠



大財 誠

環境教育については、国語や社会、理科などの教科や、道徳などの領域においても取り扱われており、視覚に障害のある児童生徒の場合も、折に触れて理解を深めています。本稿では、小学部4年生の社会「ごみのゆくえはどうなっているの」の授業の様子についてご紹介します。

1 単元について

(1) 指導計画の作成にあたって

視覚に障害のある児童の学習において特に留意することのひとつに、「全体像の把握」が挙げられます。指で触ったり目を近づけたりしながら入手した情報は、最初は部分的ですが、統合して構造を理解することによって他のことへも応用できるようになります。そのためには、基本的な事柄について、はじめから終わりまでを丁寧に体験することが大切となります。現地に行ってみる、触ってよいものについては実際に触って確かめる、インタビューするなど、視覚に障害のある児童にとって有効な手段を用いながら、学習内容の全体像が明確になるような授業ができればと考えています。

このようなことから、4年生の社会科の学習では、①基本的な内容や身近な事象に時間を掛けること、②できるだけ体験的な活動を設定すること、③分かったことや感じたことを書いたり発表したりする活動を丁寧にやること、に留意しながら指導にあたっています。

(2) 指導計画

①家や学校で出されているごみの処理について関

心を持つこと、②ごみのゆくえについて知ること、③ごみを減らす工夫について考えること、をねらいとし、以下のような計画を立て、授業を行いました。

「ごみのゆくえはどうなっているの」(全13時間)

※()内は時数

- どんなごみが出されているか調べよう(1)
- 学校のごみが集まる場所を調べよう(2・3)
- ごみを集めている用務員さんに質問しよう(4)
- 学校周辺にあるゴミステーションを探そう(5・6)
- 学校周辺のゴミステーションの場所を地図で確認しよう(7)
- もえるごみのゆくえ、もえないごみのゆくえ、最終処分場について調べよう(8・9)
- リサイクル・ごみ減量大作戦を考えよう(10)
- 牛乳パックで再生紙を作ろう(11・12)
- まとめ(13)

2 牛乳パックで再生紙を作ろう

リサイクルについて理解を深めるために、最初から最後までの手順を自分たちでも行えそうな再生紙作りを実際に体験しました。

(1) ビニールをはがす

牛乳パックの表裏についているビニールをはがします。

あらかじめ牛乳パックを水に浸しておくことでビニールをはがれやすくなるのですが、これが不十分だったため、児童ははがすのにかなり苦労してしまいました。ビニールをはがすと白いものだけが残り、手触りもそれまでとは変わること気がきました。牛乳パックにはビニールがくっついていることを初めて知ったという児童もいました。

(2) 小さくちぎる

ビニールをはがしたもの(パルプ)を1cm程度に小さくちぎります。

厚手の紙を小さくちぎるためには指先の力も必要

です。「指が痛くなってきた」と、これも児童は大変なようでしたが、黙々と作業を進めていました。

(3) ミキサーにかける

細かくちぎったパルプに水を加え、ミキサーにかけます。

児童は登場した機械に興味津々、パルプをミキサーにかけることに驚いていた児童もいました。本来はジュースなどを作るときに使うことなどにも触れながら、しくみや使い方を確かめてから、パルプをミキサーにかけていきました。どろどろになったパルプを見て、気持ち悪いと感じた人もいましたが、触ってみると意外と大丈夫だったようで、「のりのような感じ」と言っていた児童もいました。

(4) 紙をすく

網を敷いた枠にどろどろのパルプを流し込み、平らにします。

パルプの見た目や感触に慣れない児童もいましたが、自分の手にとりながらパルプを枠に入れていきました。中には、大量にパルプを入れている児童もいます。パルプが均等になったかどうかは教員が一緒に確認しました。

(5) 水分をとる

上からも網をかぶせて水をしぼります。また、網ごとタオルではさんで水分をすいとります。

タオルを上から押さえると、乾いていたタオルがだんだん濡れてくるので、児童にも分かりやすかったようです。

(6) 乾かす

できあがったものを網からはがし、窓にはりつけて乾かします。

まだ湿っていますが、自分たちの知っている紙の

イメージに近づき、児童も「本当に紙になった」と実感したようです。翌日、完成した紙を触って大喜びでした。

3 まとめ

今回の単元のねらいの3つめである、「ごみを減らす工夫について考えること」については、今後、環境に対して何ができ、自らがどのように働き掛けていくかを考えていくことにつながっていきます。今回の単元の学習のまとめとして、「ごみを減らすために、今、自分にできること」について児童に書いてもらいました。その一部を以下に紹介します。

- ご飯を残さず食べる。
- 文房具は最後まで使う。
- 点字を間違えても点字用紙は捨てずに工作に使う。
- ぜったいに直せない物以外できるだけ直す。
- いらなくなったおもちゃを使ってもらおう。
- 使える物はなるべく使う。
- ちゃんと分別する。

今回の再生紙作りについては、日記でもそのことを書くなど、児童にとっても印象に残ったようです。体験したことが実感として残り、また、体験を自分の言葉にまとめることで自分の考えが深まります。こうした体験が積み重ねられるように、今後も創意工夫しながら授業を作っていきたいと思います。

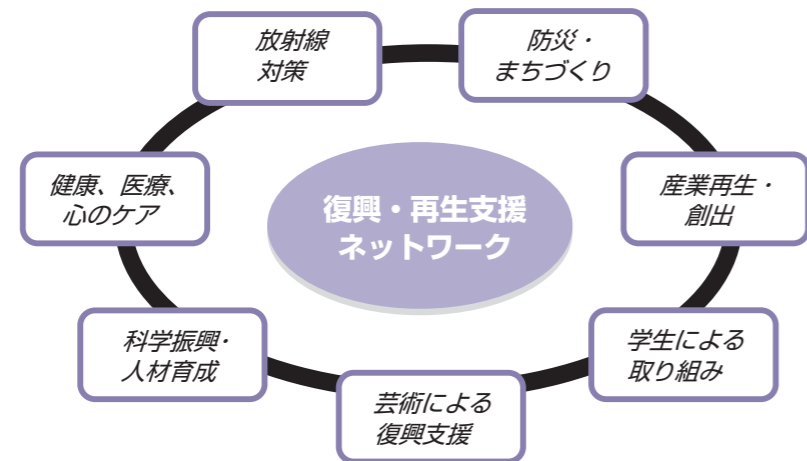


筑波大学東日本大震災復興・再生支援ネットワークによる取り組み

平成23年3月11日の東日本大震災の発生以来、本学は被災地域の復興・再生に向けた様々な支援活動に取り組んできた。そのような中で、本学は教職員・学生を合わせて約2万人の組織であるために、支援活動の情報の収集・共有、横のつながりを促進させることが重要となってきた。そこで、本学として、支援活動を全学的かつ組織的に取り組む体制を構築し、復興・再生支援活動を効果的かつ円滑に実施することを目的として、「復興・再生支援ネットワーク」を構築した。本ネットワークには、関係部局から選出される者で構成する事務局をおき、支援活動をサポートする体制を取った。

本事務局の役割は、具体的には以下の通りである。

- ①復興・再生支援活動に係る連絡調整並びに情報の収集及び共有
 - ②復興・再生支援活動に係る情報発信及び広報活動
 - ③復興・再生支援活動に係る事業の企画立案
 - ④復興・再生支援活動相互の連携及び学外の関係機関との連携
 - ⑤その他復興・再生支援活動に関する重要な事項
- 既に述べたように、本学の支援活動は多岐にわたるが、「放射線対策」、「産業再生・創出」、「防災・まちづくり」、「健康、医療、心のケア」、「科学振興、人材育成」、「芸術による復興支援」、「学生による取り組み」等に分けられ、ネットワークの構築により、支援活動間の連携や新たな企画立案など、支援活動の充実化を図った。



- (1)放射線対策
線量測定、除染指導、放射線に関する講演会、IAEA との連携
汚染土分離システム構築、放射性物質移行モニタリング
- (2)産業再生・創出
被災地視察受け入れ体制構築、農林水産業復興、新エネルギー創出
- (3)防災・まちづくり
復興計画策定、地震発生メカニズム解明、インフラ復旧、液状化対策、リスクマネジメント
コミュニティ復興、自治体支援、防災マニュアル作成
- (4)健康、医療、心のケア
災害医療支援、仮設住宅での健康支援、被災者メンタルヘルス
- (5)芸術による復興支援
まち並み再生、CREATIVE RECONSTRUCTION、文化財レスキュー
- (6)科学振興、人材育成
被災地出前講義、サイエンスワークショップ
- (7)学生による取り組み
がれき撤去、交流イベント開催、被災地スタディーツアー



児童・生徒の心の復興（北茨城市）



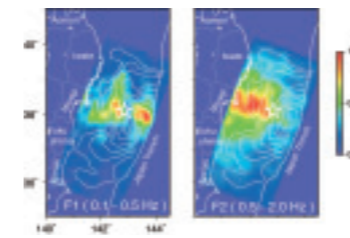
被災地ツアー（南三陸町）



緊急医療体制構築 T-DREAM（茨城県）



ICTを活用した健康運動教室（伊達市）



地震発生メカニズム解明（茨城県）



自治体職員への除染指導（取手市）



教員・学生による大津港の調査（北茨城市）



双葉町出身五輪選手応援フラッグ作成（つくば市）



サイエンスワークショップ（女川町）



本学教員設計の仮設住宅（いわき市）



公民館での聞き取り調査（大船渡市）



復興計画策定のための現地調査（石巻市）



【地方自治体との連携協定】

支援活動を行うにあたり、最も重要なことは、被災地の視点に立ち、真に求められている支援を実施することである。そのためには、被害状況を把握し、日々住民と向き合っている自治体との連携・協力体制の構築が極めて重要となってくる。本学は、複数の自治体との間で、震災復興に向けた連携協定を締結し、支援活動の適正化、円滑化、加速化に努めている。

自治体名	締結日
福島県いわき市	平成 23 年 8 月 10 日
宮城県仙台市及び東北大学	平成 23 年 11 月 10 日
茨城県潮来市	平成 23 年 11 月 21 日
福島県伊達市	平成 23 年 11 月 28 日
茨城県神栖市	平成 23 年 11 月 29 日
茨城県北茨城市	平成 23 年 12 月 2 日
茨城県高萩市	平成 23 年 12 月 6 日
茨城県鹿嶋市	平成 24 年 2 月 27 日



いわき市との連携協定調印式



仙台市、東北大学との連携協定調印式



潮来市との連携協定調印式



伊達市との連携協定調印式



神栖市との連携協定調印式



北茨城市との連携協定調印式



高萩市との連携協定調印式

	プロジェクト名	活動地域	代表者名
放射線対策	アイソトープ総合センターと地方自治体等との連携による放射性物質の影響低減に対する支援活動	福島県および茨城県	アイソトープ総合センター長 (生命環境系) 松本 宏
	東日本大震災による原発事故後の放射性核種の汚染の実態と対策	福島県および茨城県	
	原発事故により環境に放出された放射性セシウムの土壌からの抽出・回収システムの構築	福島県	生命環境系 白岩 善博
	渦前壊ノズルを用いた放射性汚染土壌の洗浄および高濃度汚染土の分離に関する実証研究	福島県白河市	システム情報系 京藤 敏達
	広域被災地の農業復興に向けた放射性物質の移行モニタリングと芝生等被覆作物による土壌中の放射性物質の物理的・生物学的除染と減量化	茨城県、宮城県および栃木県	農林技術センター長 (生命環境系) 弦間 洋
産業再生・創出	IAEA - 筑波大学の協力による 21 の日本国内放射能測定機関による環境物質の放射性核種測定技能試験プロジェクトについて	福島県	生命環境系 恩田 裕一
	震災の記憶を伝えるための被災地視察の受け入れ体制構築と中長期的なプログラムの開発	宮城県本吉郡南三陸町および岩手県上閉伊郡大槌町	芸術系 吉田 正人
防災・まちづくり	未利用水産資源を活用するバイオ燃料・食素材の供給技術の体系化	宮城県気仙沼市	生命環境系 北村 豊
	いわき市における震災復興活動のための学術的支援と自治体職員・住民を対象とした復興支援連続セミナー	福島県いわき市、双葉郡楮葉町および双葉郡広野町	システム情報系 村尾 修
	茨城インフラ復旧復興支援 - ハードウェア・ハザード・マネジメント -	茨城県および千葉県	システム情報系 金久保 利之
	地域コミュニティ復興・再生のための経験「知」交流ネットワークの構築 - 能登半島から東日本へ -	石川県輪島市、岩手県大船渡市、宮城県亘理郡山元町および社鹿郡女川町	人間系 手打 明敏
	東日本大震災被災地域における居住環境の再編・復興支援プロジェクト	茨城県日立市、北茨城市、福島県いわき市および岩手県下閉伊郡山田町	生命環境系 松井 圭介
健康・医療・心のケア	東北地方太平洋沖地震による複合災害の解明と復興支援	茨城県沿岸地域ほか	システム情報系 山田 恭央 / 糸井川 栄一 / 庄司 学生 生命環境系 八木 勇治
	建築系大学ネットワークによる社鹿半島漁村の復興案実現の持続的支援	宮城県石巻市社鹿半島	芸術系 貝島 桃代
	平成 23 年度「復興教育支援事業」理療科教員に向けた災害対策教育と理療科教員による復興支援プログラムの構築	岩手県、宮城県、福島県および茨城県	理療科教員養成施設 (人間系) 宮本 俊和
	被災地における心の復興：とくに児童生徒を対象に	茨城県北茨城市	医学医療系 朝田 隆
	東日本大震災被災地の消防職員・消防団員のストレスケアとケアメンバーへの応援プロジェクト	岩手県および宮城県	人間系 松井 豊
芸術による復興支援	つくば災害復興緊急医療調整室 (T-DREAM) 設立による被災地医療復興支援の強化 (Tsukuba Disaster Reconstruction Emergency and Medical management : T-DREAM)	茨城県および福島県	医学医療系 安田 貢
	ICT を活用した仮設住宅居住者への遠隔健康支援 Project	福島県伊達市ほか	体育系 久野 譜也
	避難所生活者のための廃用症候群防止プログラムの立案および健康コミュニティ形成	宮城県亘理郡山元町、福島県双葉郡楮葉町および会津美里町	体育系 田中 喜代次
	子どもと地域の元気を創出する SPARTS プロジェクト - Project Based Learning によるボランティア育成と活用 -	宮城県気仙沼市、福島県いわき市、茨城県北茨城市、高萩市およびつくば市	体育系 征矢 英昭
	被災直後から心理的及び行動的問題行動を示すようになった幼児に対する支援活動の実施	茨城県北茨城市、日立市、鹿嶋市および青森県八戸市	医学医療系 徳田 克己
人材育成	復興の基幹となる被災地市町村職員のメンタル支援活動と包括的予防システムの構築	福島県いわき市および岩手県宮古市	医学医療系 松崎 一葉
	被災地高齢者の心と体を元気にする運動プログラム開発と普及のための人材養成システム構築	宮城県旧石巻市地区、石巻市桃生町、石巻市河南町および亘理郡山元町	体育系 大蔵 倫博
	筑波大学・明海大学ヘルスカウンセリング学研究室による被災地支援相談員のストレスレジリエンス強化	宮城県亘理郡山元町	体育系 橋本 佐由理
	創造的復興プロジェクト (CREATIVE RECONSTRUCTION)	福島県、茨城県ほか	芸術系 逢坂 卓郎
	芸術による復興支援活動	岩手県、宮城県、茨城県ほか	芸術系 地域貢献推進室
学生の取り組み	板倉構法による仮設住宅の建設及び地域の復興	福島県いわき市および会津若松市	芸術系 安藤 邦廣
	若い世代のための被災地出前講義プロジェクト	宮城県、岩手県、福島県および茨城県	教育社会連携推進室長 (システム情報系) 大澤 義明
	科学の芽を出すためのタネをまこう ~科学に触れるきっかけづくり~	宮城県社鹿郡女川町および福島県いわき市	生命環境系 助教 Matt Wood
学生の取り組み	筑波大学生の力を生かした地域密着型震災復興支援 ~気仙沼市・いわき市・つくば市を舞台として~	宮城県気仙沼市、福島県いわき市および茨城県つくば市	生命環境学群 生物資源学類 4 年 水落 裕樹
	学生ボランティアによる震災復興	宮城県本吉郡南三陸町、福島県いわき市ほか	学生部学生生活課 大手 昇一

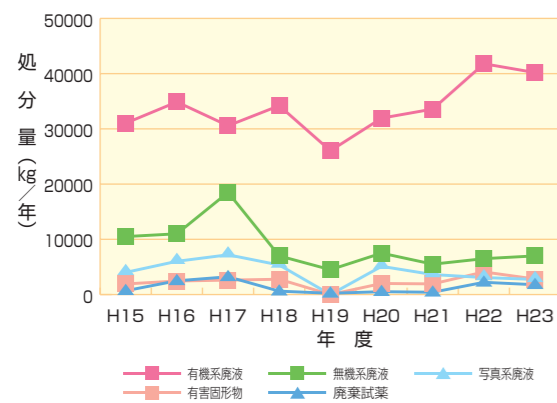
化学物質等排出量

1 実験系廃棄物の処分状況

実験室等において発生する固体状及び液体状の有害化学廃棄物、生物学的危険性廃棄物などの実験廃棄物は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律、下水道法、毒物及び劇物取締法、労働安全衛生法、地方自治体条例などの化学物質関連法の規定を遵守するために、適正な処分が排出事業者の責任として課せられています。平成23年度の実験廃棄物の種類別の処分状況を最近の状況と比較しながら下図に示しました。

平成23年度は、教職員、学生による実験系廃棄物の分別収集を81回実施し、全学的に環境負荷低減に取り組みました。

実験廃棄物の種類別の年変動



2 PCB 廃棄物の管理

PCB 廃棄物については、「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法（平成13年6月22日法律第65号）」により、平成28年までに処分完了することが PCB 廃棄物保管事業者に義務づけられています。平成23年度には山梨県に位置する山中共同研修所・電気室保管の高圧コンデンサについて日本環境安全事業（株）北海道事業所への搬出・処分を写真のように実施しました。他の9団地には下表のように、PCB 廃棄物及び微量 PCB 含有トランス類等が保管されています。これらは引き続き厳重に保管されていますが、微量 PCB 汚染廃電気機器等は微量 PCB 絶縁油等の焼却処理の許可を持つ特別管理産業廃棄物処分業者に順次処分する予定になっています。



山中共同研修所・高圧コンデンサ搬出作業

平成23年度のPCB 廃棄物等の保管状況

保管場所	PCB 廃棄物の種類	保管量	保管届出先
筑波キャンパス	PCB を含む油（微量）	18kg	茨城県知事
	廃棄トランス等（微量）	87台	
	蛍光灯安定器	123個（434kg）	
	使用中小油量遮断機等（微量）	4台	
附属桐ヶ丘特別支援学校	蛍光灯安定器	224個（897kg）	東京都知事
附属小学校	蛍光灯安定器	213個（958kg）	
附属中学校	蛍光灯安定器	166個（582kg）	
附属大塚特別支援学校	蛍光灯安定器	38個（154kg）	
附属視覚特別支援学校	蛍光灯安定器	69個（255kg）	
附属聴覚特別支援学校	蛍光灯安定器	856個（3424kg）	
附属坂戸高等学校	蛍光灯安定器	803個（3614kg）	
下田臨海実験センター	蛍光灯安定器	89個（349kg）	静岡県知事
山中共同研修所	高圧コンデンサ	1台（17kg）	山梨県知事

3 PRTR 法及び茨城県条例への対応

化学物質管理促進法（PRTR 法、平成11年7月13日法律第86号、平成13年4月1日施行）、同法改正施行令（平成20年11月公布）及び茨城県生活環境の保全等に関する条例（平成17年3月24日茨城県条例第9号）に基づき、PRTR 法の第一種指定化学物質（462物質）と茨城県知事の定める化学物質であって、平成23年度の年間取扱量が100kg以上のものについて排出量・移動量を把握しました。平成23年度において年間取扱量が100kg以上となった化学物質は11物質でした。これら11物質のうち、年間取扱量が1t以上のPRTR 法の届出指定化学物質となったものは、前年度と同様にクロロホルム、ジクロロメタン、トルエン、ヘキサンの4物質でした。以下に、年間取扱量の多い主な化学物質の排出量・移動量を示しました。

今後ともに、地域の環境保全、大学内の環境衛生向上のために、化学物質の取扱実態を正確に把握し、自主的な公表に努め、また化学物質の人及び環境への影響の最小化に取り組んでいきます。

4 規制の遵守状況

排水の水質測定状況

本学の実験室流し等から排出する排水（実験系希釈洗浄系排水）は、写真のように自動 COD 分析計

でモニターし、中水化処理施設で浄化され、トイレ水などに約15万トン（平成23年度）再利用され水経費の節約に貢献しています。

下水道条例などの法令遵守、排水再利用の管理のために、水質測定は排水と排水の処理水にあたる中水の両方について、分析機器などを用い実施しています。平成23年度の水質測定結果概要を次ページに示しました。



中水化処理制御の監視盤



実験系洗浄排水の自動 COD 分析計

PRTR 法と、茨城県条例に定められた化学物質の取扱量

(単位：kg)

(年間取扱量 100kg 以上)

	PRTR 法届出化学物質								茨城県指定化学物質						
	平成22年度				平成23年度				平成23年度						
	クロロホルム	ジクロロメタン	トルエン	ヘキサン	クロロホルム	ジクロロメタン	トルエン	ヘキサン	アセトニトリル	ベンゼン	キシレン	ホルムアルデヒド	アセトン	酢酸エチル	メタノール
大気への排出量	615	301	72	351	576	250	110	356	62	11	50	22	213	134	277
公共用水域への排出量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
当該事業場における土壌への排出量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
当該事業場における土壌への埋立処分量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
下水道への移動量	0.5	0	0	0	0.13	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
廃棄物への移動量	3,827	2,395	2,656	3,893	3,489	2,451	2,510	2,688	324	117	805	414	5,709	2,105	5,099

温室効果ガス排出量削減対策

平成 23 年度の水質測定結果（最大値～最小値）

(単位：mg/l)

項目	中地区洗浄排水	中地区処理水(中水)	医学地区洗浄排水	医学地区処理水(中水)
透視度	> 50 ~ 24cm	> 50cm	> 50 ~ 28cm	> 50
温度	24.2 ~ 12.0℃	25.0 ~ 13℃	24.3 ~ 12.0℃	23.0 ~ 10.3℃
アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素	2.0 ~ 不検出	2 ~ 不検出	2.0 ~ 不検出	2.0 ~ 不検出
水素イオン濃度(pH)	7.9 ~ 7.6	7.7 ~ 7.2	7.4 ~ 7.0	7.5 ~ 7.3
生物学的酸素要求量(BOD)	15.6 ~ 2.7	1.9 ~ 不検出	8.0 ~ 2.7	2.6 ~ 0.6
化学的酸素要求量 (COD)	4.9 ~ 2.1	1.2 ~ 0.6	12 ~ 4.9	2.4 ~ 1.0
浮遊物質	9 ~ 不検出	不検出	19 ~ 不検出	1.4 ~ 不検出
ヘキサン抽出物質含有量	不検出	不検出	1 ~ 不検出	不検出
ヨウ素消費量	不検出	不検出	不検出	1.3 ~ 不検出
カドミウム及びその化合物	不検出	0.001 ~ 不検出	不検出	不検出
全シアン化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
有機燐化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
鉛及び化合物	0.01 ~ 不検出	不検出	0.01 ~ 不検出	不検出
六価クロム化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
ヒ素及びその化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	不検出	不検出	0.0003 ~ 不検出	不検出
アルキル水銀化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
ポリ塩化ビフェニル	不検出	不検出	不検出	不検出
トリクロロエチレン	不検出	不検出	不検出	不検出
テトラクロロエチレン	不検出	不検出	不検出	不検出
ジクロロメタン	0.012 ~ 不検出	0.001 ~ 不検出	0.001 ~ 不検出	不検出
四塩化炭素	不検出	不検出	不検出	不検出
1,2-ジクロロエタン	不検出	不検出	不検出	不検出
1,1-ジクロロエチレン	不検出	不検出	不検出	不検出
シス-1,2-ジクロロエチレン	不検出	不検出	不検出	不検出
1,1,1-トリクロロエタン	不検出	不検出	不検出	不検出
1,1,2-トリクロロエタン	不検出	不検出	不検出	不検出
1,3-ジクロロプロペン	不検出	不検出	不検出	不検出
チウラム	不検出	不検出	不検出	不検出
シマジン	不検出	不検出	不検出	不検出
チオベンカルブ	不検出	不検出	不検出	不検出
ベンゼン	0.001 ~ 不検出	不検出	不検出	不検出
セレン及びその化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
ホウ素及びその化合物	0.05 ~ 0.02	0.11 ~ 0.02	0.09 ~ 0.02	0.17 ~ 0.04
フッ素及びその化合物	0.3 ~ 0.1	0.1 ~ 不検出	0.3 ~ 不検出	0.1 ~ 不検出
フェノール類	不検出	不検出	不検出	不検出
銅及びその化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
亜鉛及びその化合物	0.1 ~ 不検出	不検出	0.1 ~ 不検出	不検出
鉄及びその化合物(全鉄)	1.0 ~ 0.3	不検出	0.4 ~ 0.2	0.2 ~ 不検出
マンガン及びその化合物	0.4 ~ 不検出	0.2 ~ 不検出	不検出	不検出
クロム及びその化合物	不検出	不検出	不検出	不検出
トランス-1,2-ジクロロエチレン	不検出	不検出	不検出	不検出
クロロホルム	0.004 ~ 不検出	0.008 ~ 0.003	0.003 ~ 不検出	0.001 ~ 不検出
1,2-ジクロロプロペン	不検出	不検出	不検出	不検出
トルエン	0.001 ~ 不検出	不検出	不検出	不検出
m-キシレン, p-キシレン	0.002 ~ 不検出	不検出	0.001 ~ 不検出	不検出
o-キシレン	0.001 ~ 不検出	不検出	0.001 ~ 不検出	不検出

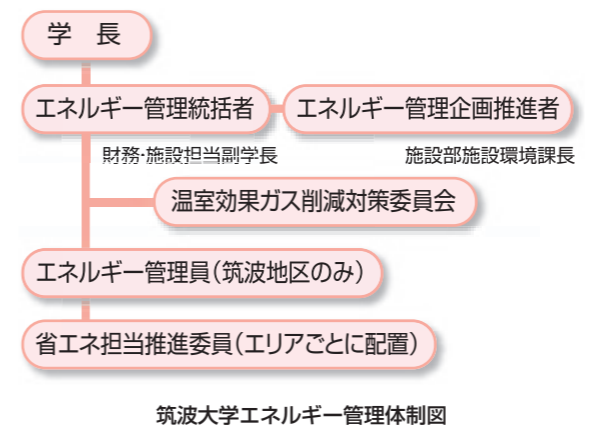
1 排出削減計画と体制

全学を対象とした温室効果ガス排出抑制等の対策として、平成 19 年 9 月に「地球温暖化対策に関する計画」策定委員会及び同策定 WG を設置し、温室効果ガス削減対策の検討を開始し、平成 20 年 3 月に「筑波大学における温室効果ガス排出抑制等実施計画」と「削減計画」を策定しました。この計画では二酸化炭素排出量の削減目標として「平成 20 年度から二酸化炭素排出原単位^{※1}を毎年少なくとも 2 %削減する」こととしています。

平成 20 年 5 月にはこの実施計画に基づき「地球温暖化対策に関する計画」策定委員会を発展的に改組再編し、「温室効果ガス削減対策推進委員会」を設置し、平成 22 年度は、本学構成員が一体となり地域にある関係機関と連携した削減活動とするため再度改編し、委員会名も「温室効果ガス削減対策委員会」としました。

エネルギー管理体制は「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に対応するため、平成 22 年度にエネルギー管理統括者およびエネルギー管理企画推進者を新たに設け、下図のような体制としています。

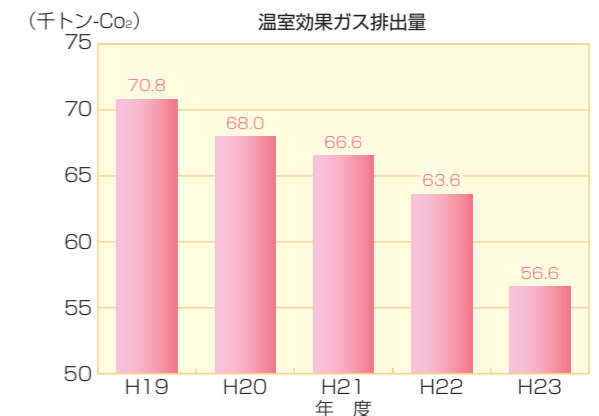
※ 1 二酸化炭素排出原単位 =
二酸化炭素排出量 ÷ 建物延べ面積



2 温室効果ガス排出量

平成 23 年度の温室効果ガスの総排出量は、前年度に比べて総量で 11%減少しました。これは東日

本大震災後の社会的な電力不足に対応するため、本学でも「平成 23 年夏の節電行動計画」を策定し、これに基づき節電に努めた結果と考えられます。



3 削減の取組

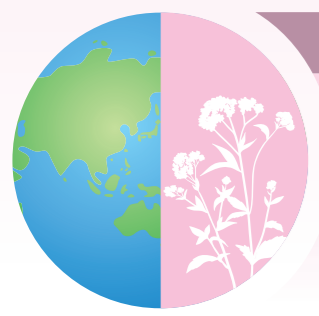
(1) 電力見える化

平成 23 年夏の節電行動計画を効果的に実施するため、電力見える化に取り組みました。

施設部の職員とシステム情報工学系の教職員で協力して、TEMS (筑波大学電力情報システム: University of Tsukuba Electricity Monitoring System) を構築しました。これは、全ての電気室単位での自動計測ができるようにハードを整備し、これらのデータを利用することにより、各電気室の電気使用量を建物別にホームページの地図上に視覚的に表示するものです。TEMS システムの構築は、使用者の節電意識を高め、節電行動計画に掲げた筑波キャンパスの 25%の削減率達成に、大きく貢献しました。



TEMS の画面 (1 時間ごとに自動更新される)



(2) 省エネ型照明器具更新

省エネ型照明器具の更新は、これまで Hf 蛍光灯への更新を実施してきましたが、平成 23 年度は省エネ率がより大きい LED 器具への更新を計画し、1A 棟事務室、2B 棟食堂、7A 棟講義室など 1,500 m² を実施し、平成 20 年度から行ってきた事務室など稼働率の高い主要な室の省エネ型照明器具の更新は概ね完了しました。

(3) 夏季一斉休業等

夏季一斉休業は例年 2 日間実施していましたが、平成 23 年度は、一斉休業の 2 日間に 3 日間の年次休暇等取得促進期間を加えた 5 日間を休業期間としました。以下に平成 21 年度からの 3 年間の一斉休業による温室効果ガス削減効果の算定値を掲載します。算定は直近の休日と平日のエネルギー使用量の差に休業日数を乗じて算出しています。

- ・平成 23 年度：8 月 15 日～ 19 日の 5 日間
CO2 削減量：221t
- ・平成 22 年度 8 月 12 日～ 13 日の 2 日間
CO2 削減量：117t
- ・平成 21 年度 8 月 13 日～ 14 日の 2 日間
CO2 削減量：115t

(4) 熱源設備基本計画に基づく対策

筑波地区の冷暖房システムは、中央機械室から北・中・南地区の各施設に高温水を利用した熱源供給による大規模集中方式で構築されました。

この方式は熱源を集中することによりボイラ容量が抑えられるスケールメリットや保守の容易性等がありますが、冷暖房運転時間の変更に柔軟に対応することが困難なことや、空調を必要とする部屋単位での運転ができないなど効果的な省エネが図れないデメリットがあります。

平成 14 年 3 月に本学で策定したキャンパスリニューアル計画では、熱源機器の設備更新は大規模集中方式からブロック別集中方式及び個別方式へ転換し、すべて完了した時点で中央の熱源機器を廃止することとしています。

平成 23 年度は、中央の熱源から分離した建物は、研究基盤総合センター（低温部門）と陸域環境研究センターの 2 棟です。これまでの整備で、筑波地区で中央から熱源の供給を受けていた建物全体の約半数の建物が分離されています。



陸域環境研究センターの空調機用室外機

(5) その他の取り組み

遮熱のための窓ガラスへの遮光フィルム貼りは、遺伝子実験センターなど学内の窓ガラス 3,664m² に実施し、壁面緑化は中央図書館南面や 2B 棟西面に 808m²、総合研究棟 B に網戸取り付け 380m² など実施しました。



遺伝子実験センターの窓の遮熱フィルム貼り



中央図書館南面の壁面緑化

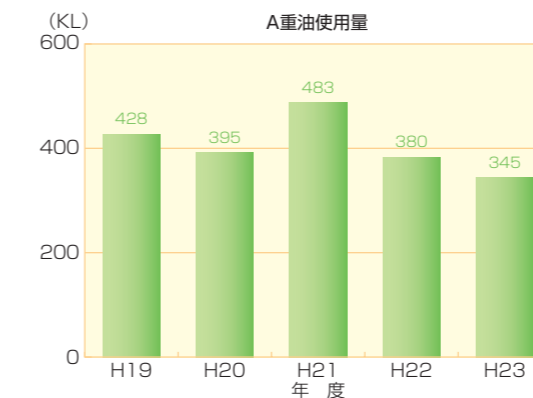
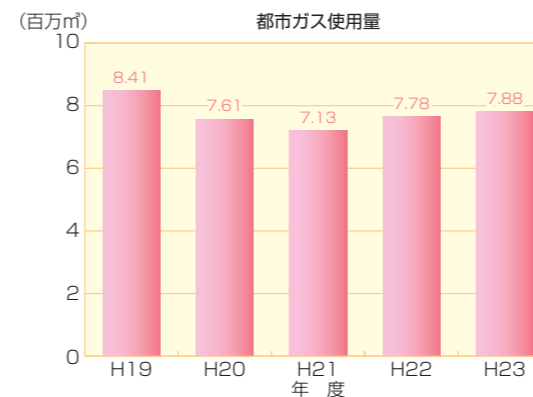
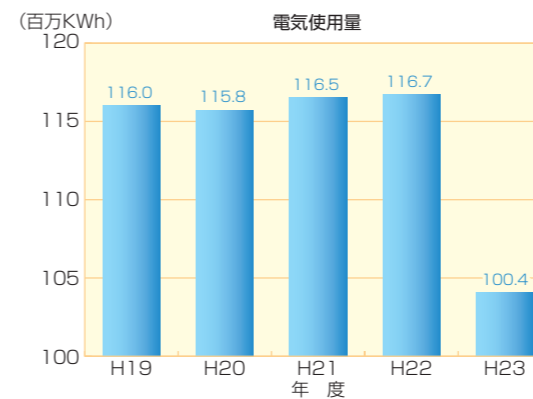


光熱水量

1 電気・都市ガス・A重油

電気と都市ガスは本学のエネルギーの 98% を占めます。平成 23 年度の使用量は前年度と比べて電気は減少し都市ガスは増加しました。これは、夏の節電とガスヒートポンプ式空調機の普及によるものと思われます。

この冬が厳冬であったため、都市ガスの使用量は 12 月～ 2 月が前年度同月比で平均 14% 増加しました。A 重油の使用量は前年度と比較しわずかに減少しています。



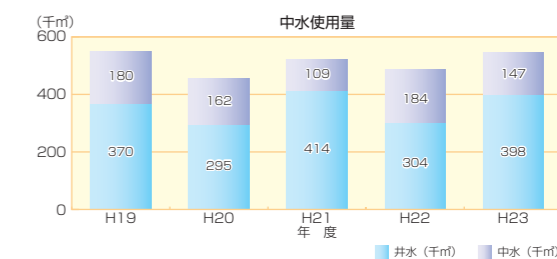
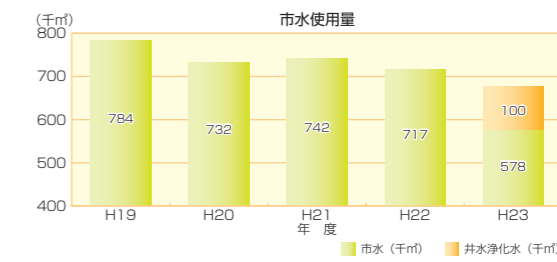
2 市水・中水

市水は主に上水道として飲料用に供給しています。市水の使用量は、節水の啓発活動や便所改修における手洗いの自動水栓化等を積極的に進めているため、減少傾向にあります。平成 23 年度は前年度と比較して 5.4% 減少しました。これは、使用者の節水意識の向上もありますが、東日本大震災の影響も考えられます。

平成 23 年 3 月から本格稼働を始めた医学エリアの井水浄化システムは、震災時は被害を受けずに附属病院の市水の安定供給に活躍しました。平成 23 年度の市水使用量は、この井水浄化システムから供給される浄化水も市水の使用量に含めることにし、グラフではそれぞれの使用量がわかるように分けて表現しました。

筑波地区では、実験室の 3 次洗浄水以降の排水を実験系排水として中地区実験廃水処理施設に集めて浄化し、便所の洗浄水や、冷暖房設備の補給水など非飲料系中水として再利用しています。中水使用量はこの実験系排水の処理水と、医学エリアの井水浄化水を除く井水の使用量を合算して中水使用量としています。

一般の排水は雨水系統と汚水・雑排水系統の 2 系統に分かれていて、汚水・雑排水系統は公共下水道に排水しています。



廃棄物等排出量及び低減対策

1 廃棄物の発生抑制、低減対策等

筑波大学では、紙の削減計画の一環として両面コピーの推進や2UP印刷等を奨励し、教員・職員・研究生など全構成員の個々人のコスト意識の向上により節減された経費を教育研究の充実に役立てるべく努めています。

本学のゴミの排出量は、つくば市に占める割合が8%程度ありゴミ抑制方策、リサイクルの推進やゴミの分別収集など積極的に取り組むことが重要と

なっています。

低減の取り組みとしては、平成22年度にエコステーションを設置することで、ペットボトル、缶、ビン等の分別回収を推進し、リサイクル(売却)に努めています。

また、温室効果ガス削減対策の一環として、機密書類等の焼却処理をやめ製紙工場での溶解処理を導入しています。

平成21年度からの3年間の一般廃棄物に関する排出量と処分に要した経費は表1のとおりです。

表1 年度別一般廃棄物処分量及び経費

種類	種類	処分量 (kg)			対前年度増△減 (H23 - H22)(kg)	増△減の要因等
		平成21年度	平成22年度	平成23年度		
可燃物	大学構内	1,945,950	1,866,420	875,450	△990,970	
	学生宿舎	0	0	0	0	
	病院地区	757,830	674,540	791,410	116,870	
	東京キャンパス	19,889	150,250	184,417	34,167	※1
	計	2,723,669	2,691,210	1,851,277	△839,933	
不燃物	大学構内	45,000	39,330	34,020	△ 5,310	
	学生宿舎	0	0	0	0	
	病院地区	8,310	1,560	0	△ 1,560	
	東京キャンパス	9,026	1,454	1,234	△ 220	※1
	計	62,336	42,344	35,254	△ 7,090	
粗大ゴミ	大学構内	44,540	11,060	7,660	△ 3,400	
	病院地区	1,750	0	0	0	
	東京キャンパス	0	60,800	50,920	△ 9,880	※1
	計	46,290	71,860	58,580	△ 13,280	
ペットボトル	大学構内	17,460	16,030	0	△ 16,030	※3
	病院地区	22,720	9,900	0	△ 9,900	※3
	計	40,180	25,930	0	△ 25,930	
缶	大学構内	19,390	14,570	680	△ 13,890	※3
	病院地区	25,570	9,280	0	△ 9,280	※3
	東京キャンパス	0	165	135	△ 30	※1
	計	44,960	24,015	815	△ 23,200	
ビン	大学構内	7,800	7,080	2,860	△ 4,220	※3
	病院地区	9,240	5,060	0	△ 5,060	※3
	東京キャンパス	0	164	127	△ 37	※1
	計	17,040	12,304	2,987	△ 9,317	
合計	2,934,475	2,867,663	1,948,913	△918,750		
金額(単位:千円)	61,486	76,730	58,927	△ 17,803	※2	

※1 平成22年度から東京キャンパスに附属学校分を含めました。
 ※2 平成22年度から病院分はクリーンセンター処分費を含めました。
 ※3 平成22年9月からペットボトル、缶及びビンについては、エコステーションによる売払いをしています。

2 廃棄物総排出量と処理経費

平成21年度からの3年間の一般廃棄物に関する排出量と処分に要した経費は表2のとおりです。

表2 年度別産業廃棄物処分量及び経費

種類	処分量 (kg)			対前年度増△減 (H23 - H22)(kg)	増△減の要因等
	平成21年度	平成22年度	平成23年度		
廃プラスチック・金属類	233,927	283,949	440,016	156,067	
木くず	13,270	3,795	8,614	4,819	
廃タイヤ	0	0	0	0	
コンクリートくず	0	0	27,670	27,670	
岩石	0	0	21,620	21,620	
廃自転車・廃バイク	0	0	0	0	
廃乾電池	2,008	0	0	0	
廃蛍光灯	5,216	4,710	3,520	△ 1,190	
ガラスくず・陶磁器くず	20,695	7,190	29	△ 7,161	
廃油・廃液	29,924	851	17,863	17,012	
動物の死体	68,977	54,205	63,464	9,259	
感染性廃棄物	287,336	326,936	330,869	3,933	
廃試薬	132	0	3,280	3,280	
汚泥	31,858	11,766	28,273	16,507	
がれき類	775	40,410	70	△ 40,340	
廃酸	1,941	59	100	41	
廃アルカリ	3,420	411	1,567	1,156	
廃石綿等	720	134	1,520	1,386	
合計	700,199	734,416	948,475	214,059	
金額(単位:千円)	74,764	58,486	68,265	9,779	

表3に附属病院における平成22、23年度の産業廃棄物と感染症廃棄物の処分量を示します。

表3 平成22、23年度病院地区産業廃棄物・感染症廃棄物処分量及び経費

種類	処分量 (kg)		経費 (単位:千円)	
	平成22年度	平成23年度	平成22年度	平成23年度
(産業廃棄物)				
固形不燃物	50,890	43,530	3,206	2,264
粗大物	13,710	27,630	750	1,185
(感染症廃棄物)				
固形・鋭利物	321,889	325,444	46,550	63,289
液状・泥状物	4,723	6,899	495	716

グリーン購入・調達の状況

1 購入・調達の方針、目標、計画

(1) 購入・調達の方針

本学は、「国等による環境物品の調達の推進等に関する法律」（グリーン購入法）を厳守し、可能な限り環境への負荷の少ない物品の調達に努めるため、「環境物品等の調達の推進を図るための方針」を策定し、公表しています。（環境省へ毎年報告）

(2) 目標、計画

特定調達品目については、その調達目標を100%と定め、環境負荷低減に努めています。また、特定調達以外の調達に関してもエコマーク製品

の調達やOA機器、家電製品など、より消費電力が少なく、かつ、再生材料を多く活用しているものを選択するなど環境に配慮しています。

さらに、公共工事の要素である資材・建設機械等の使用に際し、コスト等に留意し、環境負荷に配慮した公共工事を積極的に推進しています。

2 グリーン購入・調達の状況

本学における「年度別調達品目調達状況」を表に示します。調達達成率は、コピー用紙が99%で、その他は100%です。

年度別特定調達品目達成状況

分野	平成21年度			平成22年度			平成23年度		
	総調達量	単位	品目数	総調達量	単位	品目数	総調達量	単位	品目数
紙類	362,777	kg	7	370,199	kg	7	338,149	kg	7
文具類	650,597	件	78	751,131	件	78	603,279	件	82
オフィス家具等	10,804	台	10	7,363	台	10	5,826	台	10
OA機器	4,920	台	14	5,517	台	11	4,743	台	11
関連用品	36,803	個	5	70,743	個	6	60,695	個	7
家電製品	427	台	3	163	台	4	302	台	5
エアコンディショナー等	61	台	2	82	台	2	88	台	2
温水器等	11	台	3	170	台	3	92	台	3
照明	6,232	件	4	18,073	件	5	6,969	件	5
自動車等	2	台	1	4	台	2	11	台	2
関連用品	14	件	3	19	件	2	1	件	1
消火器	327	本	1	1,358	本	1	336	本	1
制服・作業服	1,664	着	2	2,016	着	3	3,515	着	3
インテリア・寝装寝具									
カーテン等	200	枚	2	285	枚	2	256	枚	1
じゅうたん等	765	m ²	1	99	m ²	1	333	m ²	2
寝具類等	2	枚	2	824	枚	4	1,291	枚	4
作業手袋	4,417	組	1	8,433	組	1	43,485	組	1
その他の繊維製品	2	枚	2	5,169	枚	5	5,264	枚	6
役務	997	件	7	2,355	件	10	1,981	件	11

アスベスト対策

本学における建築物のアスベスト（石綿）の対応は、平成17年に実施した「学校等における吹き付けアスベスト等使用実態調査」に基づき、含有する石綿の重量が当該製品の重量の1%を超えるものを対象に、建物数92棟、延べ面積約82,400m²、2,500室について吹き付けアスベストの除去工事を実施しました。

また、平成18年9月から施行された「労働安全衛生法施行令」及び「石綿障害予防規則」の一部改正により、石綿をその重量の「1%を超えて含有するもの」から「0.1%を超えて含有するもの」に適用範囲が拡大されました。このことを受け、該当する建物の再調査を行った結果、建物数9棟、延べ面積約2,660m²について0.1%を超えてアスベストの含有が認められました。このうち8棟、約2,370m²については平成20年9月末迄に除去工事が完了しました。

残りの1棟については、電気室であり飛散のおそれがないことが確認されていますので、大規模改修時に撤去することとしています。

更に、平成20年2月に新たなアスベスト対策として、国内で使用されていないとされていたトレモライトなどの3種類の石綿が、吹き付け材から検出されことを受け、文部科学省より石綿6種類の分析調査の徹底についての通知があり、本学も新たに分析調査が必要となった建物176棟、約83,000m²について再調査を実施、15棟約6,800m²に含有が認められました。

なお、含有が認められた建物については全室飛散していないかの目視調査、学内での説明会を実施し、平成21年度に、含有が認められた一の矢学生舎8棟、追越学生舎3棟、1A棟、4B棟及び附属駒場中高の技術工芸教室棟の除去工事を実施しました。

平成22年度、1G棟の大規模改修が実施された際、建築設備の盤・配管等のため除去できず過去に封じ込め処理を行った箇所の除去工事を実施しました。

平成23年度は、囲い込み処理としている建物について、東日本大震災による影響を確認し、ボード類が破損し露出している箇所については、応急処理を実施後、囲い込み処理の復旧工事を行うとともに、体芸図書館に耐震補強を実施する際、補強ブレース設置箇所（4階）の鉄骨耐火被覆材（天井内）の除去工事を行いました。

環境報告書ガイドライン 2007 との対照表

環境報告書 2007 ガイドラインによる項目	筑波大学環境報告書 2012 における対象項目	項目ページ
(1) 基本的項目		
BI-1 経営責任者の緒言	学長挨拶	2
BI-2 報告にあたっての基本事項		
BI-2-1 報告の対象組織・期間・分野	筑波大学概要	4
BI-2-2 報告対象組織の範囲と環境負荷の補足状況	筑波大学概要	4
BI-3 事業の概況（経営指標を含む）	筑波大学概要	4
BI-4 環境報告の概要		
BI-4-1 主な指標等の一覧	環境負荷低減の取り組み	64
BI-4-2 事業活動における環境配慮の取組に関する目標、計画及び実績等の総括		
BI-5 事業活動のマテリアルバランス（インプット、内部循環、アウトプット）	光熱水量、温室効果ガス排出量削減対策 廃棄物等排出量及び低減対策	69、67 70
(2) 「環境マネジメント等の環境経営に関する状況」を表す情報・指標		
MP-1 環境マネジメントの状況		
MP-1-1 事業活動における環境配慮の方針	筑波大学環境方針	3
MP-1-2 環境マネジメントシステムの状況		
MP-2 環境に関する規制遵守状況	環境負荷低減の取り組み	64
MP-3 環境会計情報	環境と調和した循環型社会経済システムを目指して	40
MP-4 環境に配慮した投融資の状況		
MP-5 サプライチェーンマネジメント等の状況		
MP-6 グリーン購入・調達状況	グリーン購入・調達の状況	72
MP-7 環境に配慮した新技術、DfE 等の研究開発の状況	次世代環境エネルギー技術の開発にむけて ～藻類エネルギー研究開発の進展～	13
MP-8 環境に配慮した輸送に関する状況	スポーツを通じた環境コミュニケーション	44
MP-9 生物多様性の保全と生物資源の持続可能な利用の状況	井守（いもり）も棲める谷津田・里山の復元と維持 管理ネットワークの構築	37
MP-10 環境コミュニケーションの状況	学生団体 筑波大学環境コミュニケーションラボの活動	50
MP-11 環境に関する社会貢献活動の状況	農林技術センターにおける環境問題の取り組みと 社会貢献活動 3Ecafe プロジェクトチームの活動	48、52
MP-12 環境負荷低減に資する製品・サービスの状況	〔附属学校の活動状況〕 社会科学習から学級統合へ、そして、ボランティア活動へ (筑波大学附属小学校の活動状況) 筑波大学附属視覚特別支援学校における環境教育の 取り組みー小学部 4 年生の社会よりー	56、58
(3) 「事業活動に伴う環境負荷及びその低減に向けた取組の状況」を表す情報・指標		
OP-1 総エネルギー投入量及びその低減対策	次世代エネルギーシステム開発の取り組み	25
OP-2 総物質投入量及びその低減対策	光熱水量 化学物質等排出量	69、64
OP-3 水資源投入量及びその低減対策	光熱水量	69
OP-4 事業エリア内で循環的利用を行っている物質等		
OP-5 総製品生産量又は総商品販売量	筑波大学概要	4
OP-6 温室効果ガスの排出量及びその低減対策	温室効果ガス排出量削減対策	67
OP-7 大気汚染、生活環境に係る負荷低減及びその低減対策	バイオ燃料の地産地消システム	30
OP-8 化学物質の排出量、移動量及びその低減対策	化学物質等排出量	64
OP-9 廃棄物等総排出量、廃棄物最終処分量及びその低減対策	廃棄物等排出量及び低減対策	70
OP-10 総排出量及びその低減対策	廃棄物等排出量及び低減対策	70
(4) 「環境配慮と経営との関連状況」を表す情報・指標		
(5) 「社会的取組の状況」を表す情報・指標		
	筑波大学の安全衛生への取り組み 福島第一原発による放射性物質の環境汚染の実態を調べる つくばエコシティ推進グループの取り組み 筑波大学東日本大震災復興・再生支援ネットワーク による取り組み	8、10 35、60

筑波キャンパスの周辺マップ



筑波キャンパス以外の施設等の所在地

- 埼玉県 ● 附属坂戸高等学校 ● 戸田艇庫・合宿所
- 千葉県 ● 附属聴覚特別支援学校 ● 館山研修所
- 神奈川県 ● 附属久里浜特別支援学校
- 東京都 ● 附属学校教育局 ● 大学院夜間課程 ● ビジネス科学研究科 法曹専攻(法科大学院)
● 大学研究センター ● 特別支援教育研究センター ● 理療科教員養成施設 ● 大塚図書館
● 附属小学校 ● 附属中学校 ● 附属駒場中学校 ● 附属高等学校 ● 附属駒場高等学校
● 附属視覚特別支援学校 ● 附属大塚特別支援学校 ● 附属桐が丘特別支援学校 ● 東京サテライト
- 新潟県 ● 石打研修所
- 山梨県 ● 山中共同研修所
- 長野県 ● 八ヶ岳演習林 ● 菅平高原実験センター
- 静岡県 ● 井川演習林 ● 下田臨海実験センター

この環境報告書は、各部署の協力により作成いたしました。

●環境報告書編集担当者●

広報室	木野内 聡
企画室	草間 久美子
施設部施設環境課	前島 謙
施設部施設マネジメント室	倉持 光男 (編集時)
財務部契約課	大内 佳子
環境安全管理室	野本 信也
総務部環境安全管理課	坂本 義五
	長井 文夫
	柏木 保人
	直江 かをり



■ 編集後記 ■

2011年度は震災からの復興の年になりました。東北地方の被災地と比べると、筑波大学キャンパスの被害は大きいものではありませんが、福島原発事故の影響と相まって、教育と研究に多大な障害が発生しました。関係する皆様のご尽力により迅速な復旧作業が推進された結果、正常な教育研究活動を行えるまでに至っています。この年は、様々な意味で環境の大切さの認識を新たにする年でもあったと言えるのではないのでしょうか。この環境報告書では、研究・教育活動における環境への取り組みとして、筑波大学内の様々な組織やグループの取り組みを紹介しました。環境への負荷を低減するエネルギー獲得の方法の開発の紹介では、藻類エネルギーの開発、次世代エネルギーシステムの開発そしてバイオ燃料の地産地消システムの確立に向けた研究を取り上げました。藻類エネルギーの開発研究は、筑波大学環境報告書2009に分かりやすく紹介されていますので、今回は学術的記述形式でこれまでの研究の経緯を解説していただきました。いもりが棲める水環境を健全な自然環境の指標とした、地域住民と官・学が連携したグループによる取り組みも興味深い記事です。附属学校での環境教育の実践例として、2校の附属学校における取り組みを掲載しました。教育現場では、生徒の学年に即して工夫を凝らした息の長い教育が行われています。大震災をきっかけとして、ここで取り上げた職員や学生の環境活動にますます拍車がかかることが期待されます。これまでの報告書とともに、今後も筑波大学環境報告書をご覧いただければ幸いです。

環境報告書作成責任者
環境安全管理室長 野本 信也

表紙イラスト

今年の表紙は、霍達 [カク ダツ] さん (人間総合科学研究科博士前期課程芸術専攻情報デザインの研究生で中国の留学生) の作品です。

作者コメント

木と木の幹に巻き付いた青藤、その木にチョウが静かに止まっていることで一組の自然な構図で表しました。更に、絵本風な絵柄で、柔らかい、優しいイメージのある自然を感じるようにしてみました。色数を抑え、初夏をイメージする緑色を敷き詰め、誰もが目を留めやすいよう、堅すぎない雰囲気にとめました。



■ 作成部署・お問い合わせ先

筑波大学総務部環境安全管理課

〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
Tel 029-853-2106 Fax 029-853-2129
E-mail sj.kaksitu@un.tsukuba.ac.jp

この環境報告書は筑波大学ホームページでも公表しています。
筑波大学 HP アドレス <http://www.tsukuba.ac.jp>

印刷/いばらき印刷株式会社



この環境報告書は、筑波大学が、印刷プロセスで使用する19.8kgのアルミ板をリユースして印刷する事で、
電力量313.28kWh(CO2排出量換算で202.09kg)を削減しました。
当CO2削減認証は株式会社日本スマートエナジーがこの印刷システムを厳格・公正に審査・確認して与えられたものです。



筑波大学は、MCPによる印刷を通じ、インドネシア・バリ州の森林再生事業(国定公園内の植樹3,000本)に参加しています。