

[環境科学研究科ニュースレター]

# News Letter

東北大学大学院環境科学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University



TOHOKU  
UNIVERSITY

特集

文理融合研究領域の取組み

「いにしえ」から学ぶ 現代に活かし 未来につなげる

① 未来の暮らし方を育む泉の創造

先進社会環境学専攻 環境政策学 イノベーション戦略学 准教授 古川柳蔵

② 「眠れる世界記憶遺産」を活かし、伝えるー地域の歴史資料保全研究ー

先端環境創成学専攻 東北アジア地域文化論 東アジア歴史論 准教授 佐藤大介



リサーチ・レポート  
Research Report

① 固体酸化物形燃料電池の高性能化を目指した材料開発

先進社会環境専攻 エネルギー資源学 エネルギー分散システム学 准教授 八代圭司

② 建設機械の掘削作業による地盤定数推定モデルの構築

先進社会環境専攻 資源戦略学 地球開発環境学 助教 里見知昭

トピックス

Topics

青葉山新キャンパス地区に

「環境科学研究科本館」が完成

(新キャンパス・アクセス掲載)



# 未来の暮らし方を育む泉の創造

東北大学 大学院環境科学研究科 准教授 古川柳蔵

## 研究概要

今後益々厳しさを増す地球環境制約を踏まえると、これまでの暮らし方をこれ以上維持することは困難とされています。私たちはこれらの制約について意識せずに開発を進めてきましたが、今、これを見直し、改めて社会が目指す心の豊かさについて問い直し、暮らし方を変革する必要があります。そして、持続可能で心豊かな暮らし方はどのようなもので、どのように実現することができるのでしょうか。

私たちはこれを実現するためには、各地域で持続可能となるために残しておかなければならない価値が何かを未来の制約を踏まえて各々が考え、地域の特徴を基盤とする豊かさを創出する新しい事業や政策を創造し、実装が各地域で自立的に進む「未来の暮らし方を育む泉の創造」による持続可能な都市・地域を構築しなければなりません。

## 柱となる方法論

制約の中の心豊かな暮らし方はどのような形をしているのでしょうか。このヒントは、日本の自然環境で生まれた「いにしえの暮らし」の中にあります。私たちが将来受けるだろう地球環境制約に類似した制約を私たちの先人は既にこの同じ日本列島で経験し、乗り越えてきたからです。その経験を直接聞き出し、分析することで、未来の暮らし方のヒントを導き出すことができます。この戦前の暮らしを経験した現在90歳前後の方々へ聞き取り調査をする「90歳ヒアリング」という手法は一つ目の柱となる方法です。これまでに 47都道府県全域にわたって合計460件以上のヒアリングを実施してきました。

(写真1-1, 1-2)

もう一つの柱としてあげられるのは、将来の地球環境制約の中で未来の暮らしを描くという方法です。技術進歩を経ていくため、将来に私たちが受ける制約は過去受けていた制約



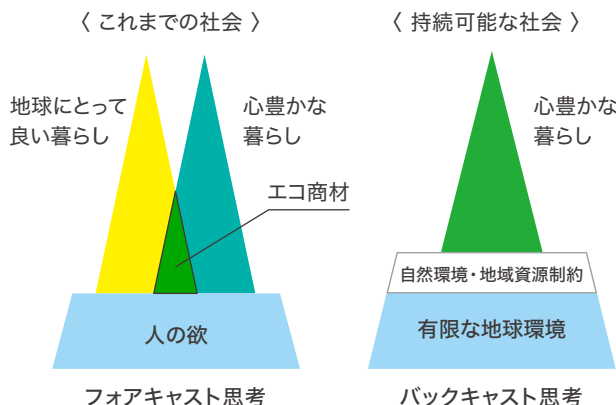
写真 1-2 戦前の暮らしを思い起こす 90歳

とも異なります。情報技術、移動技術、生活技術が進歩したため、必ずしも「昔に戻る」ことが将来の制約の中で最も心豊かな暮らし方かと言えばそうではないからです。しかし、今の暮らし方を維持・延長した大幅削減・我慢の未来には私たちの暮らし方の最適解はありません。私たちは制約を技術的に解決するという思考法から制約を受け入れた心の豊かさを求める思考法へと大きく転換しなければならないのです。後者をバックキャスト思考と言います。(図1)



写真 1-1 90歳ヒアリングにより戦前の暮らしを調査

図1



# いにしへの知恵を どのように活かすのか

戦前の宮城の暮らしでは、山や薪など暮らしの中で大事な自然資源を近所の人と共有し、厳しい冬を乗り越え、共同作業の中に心の豊かさを見出していました。現在も、熊本県小国町では自然に噴き出す蒸気を共有する「蒸し場」が今も利用されています。(写真2)

これらをヒントに未来の新しい集いの場を構想することができます。例えば、未来の地球環境制約を踏まえると、エネルギーは大事なものになるでしょう。そのような状況の中、共有地において太陽光パネルで発電した電気を蓄電し、それを近所の人と共有する暮らし方が考えられます。人は大事な電気を充電するためにその共有地に行き、近所の人と集う機会が増えることになり、コミュニティ間のつながりが強化されるでしょう。東北大学エコラボの前でこの実証試験が開始されています。(写真3)



写真2 自然資源の蒸気の共同利用研究  
(熊本県小国町を視察)



写真3 太陽光発電した電気を蓄電し、  
共同利用する場の実証試験



写真4 地元の人と心豊かな暮らしについて考える  
「旬を楽しむ会」(兵庫県豊岡市)

## 自治体主導のまちづくり開始

2015年10月からJST-RISTEX(社会技術研究開発センター)の研究開発領域「持続可能な多世代共創社会のデザイン」の研究開発課題として、「未来の暮らし方を育む泉の創造」プロジェクトが開始されました。自治体主導として、東北大学が連携し、将来の地球環境制約を踏まえた心豊かな暮らし方を新規にデザインし、それを社会実装しながら、ライフスタイル変革の方法論構築を目指すものです。兵庫県豊岡市、岩手県北上市、鹿児島県沖永良部島、三重県伊勢志摩地域をモデル地域として、3年間かけて実証研究を行います。90歳ヒアリング手法、バックキャスト思考を用い、地域らしさを活かしたまちづくりを目指します。このモデル地域以外にも、例えば、秋田県秋田市とは、「未来の暮らし創造塾」を立ち上げ、自治体職員と共に未来の暮らし方を議論しています。今後、近畿地方、中国地方、九州地方など、さらに地域を広げて、ライフスタイル変革のまちづくりが広がるようとしています。これらの自治体には、「未来の暮らし方を育む泉の創造 研究室」を設置し、自治体と先端研究を進める計画です。(写真4)

## 次の展開 -社会や企業との連携-

日刊工業新聞社のモノづくり日本会議「ネイチャー・テクノロジー研究会」では、企業12社が参加し、ライフスタイルデザイン手法やライフスタイル評価手法の検討を進めています。また、JR東日本、大阪ガス、電通、コクヨ、三菱総合研究所、学研、ベネッセコーポレーション、住宅、生活用品、総合電機、

自動車関連、リサイクル関連企業などと連携して、価値転換を必要とするライフスタイル変革を如何に移行していくのかについて検討してきました。今後は、将来の地球環境制約下においても本当に心豊かだと思える暮らしを実現するためのイノベーションを、ビジネスや施策を用いて如何に促進するかについての方法論の開発が期待されています。多くの企業や自治体の参加が求められています。(写真5)



写真5 未来の暮らし方変革のイノベーションについて伊賀焼長谷製陶と議論

東北大学 大学院環境科学研究科 准教授

古川 柳蔵 (ふるかわ・りゅうぞう)

専門は環境イノベーション。博士(学術)。東京大学大学院工学系研究科修了後、民間シンクタンクを経て、2005年に東京大学大学院にて博士号取得。2005年に現職。

住所：仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1

電話：022-752-2239

E-mail : ryuzo.furukawa.b1@tohoku.ac.jp



# 「眠れる世界記憶遺産」を活かし、伝える 地域の歴史資料保全研究

東北大学 災害科学国際研究所 准教授 佐藤大介

## 「眠れる世界記憶遺産」

### 日本列島各地に残る古文書と継承の危機

日本列島の各地には、いわゆる「くずし字」で書かれた古文書が無数に残されている。推計20億点との試算もある。旧家の土蔵などに残されている古文書は、実は「眠れる世界記憶遺産」である。

なぜなら、鎌倉時代から江戸時代—13世紀から19世紀初めの村や町などの膨大な古文書が、現代にいたるまで地域社会に伝えられているのは、地球上で日本だけだからである。この時代、日本では文書の使用を前提にした政治や社会の制度を整えていた。さらに、庶民たちは自らの生業や文化的な生活のために文字を使いこなしていた。加えて、それらを体系だって保存するしくみも生み出していたのである。先日、ユネスコの世界記憶遺産に指定された京都の東寺百合文書に匹

敵するような「将来の世界記憶遺産」が、各地の農山漁村にまだまだ眠っている、といっても過言ではない。日本を超え、過去の人類の歴史を知るための大きな手がかりが、私たちの身近に残されているのである。(写真1)



写真1 旧家の土蔵に眠る古文書 (2009年8月 岩手県一関市)

これら地域の古文書は、いま大量消滅の危機に直面している。敗戦直後の物不足の時代、さらに1950年代後半から現代まで続く農山漁村の衰退と、大量消費・均質化による価値観の変化のためである。この「日常の危機」を急激に可視化させるのが災害である。所蔵者や地域住民が読む能力を失い、いつしか記憶から薄れ、ほこりにまみれた古文書は、災害からの復旧過程で「薄汚れたゴミ」として、一度に大量に処分されるのである。

1995年の阪神・淡路大震災以後、日本列島各地で、古文書とそれらが伝える地域の歴史を災害その他の消滅の危機から救うための取り組みが、地道に続けられている。宮城県では、

2003年に起こった連続直下型地震をきっかけに、当時懸念されていた宮城県沖地震に備え、災害が起こる「前」に、地域社会の中での古文書の所在を把握し、デジタルカメラで撮影していく取り組みを続けている。(写真2)

活動は古文書そのものの保護に加え、研究者、行政、市民の三者に、歴史資料を中心とした社会関係資本(ソーシャル・キャピタル)を築いていくこととなった。

## 東日本大震災での 古文書レスキュー

### 救済から復興への役割とは

2011年3月11日、巨大地震と津波により、数え切れない古文書が失われた。私がかつて調査した古文書の中には、原本が津波で失われたが、デジタル写真だけは残ったものもあった。この事実は、なぜ災害が起こる「前」に古文書を守るための活動が必要なのかを示す「最も悲しい実証」となった。

一方、津波や地震の第一撃を受けながら、かろうじて消滅を免れた古文書群については、救出と応急処置が行われている。

(写真3)



写真2 デジタルカメラによる古文書の撮影 (2013年8月 東北歴史博物館)

私の関わっている分でも、約110件、推計6万点ほどに及んでいる。この活動に、震災「前」に築いてきた、歴史資料を通じた人々のつながりが大きな力を発揮している。また、現場には、歴史学など文系の研究者に加え、文化財の保存修復に携わってきた理系の研究者が参加し、専門家に加え市民の力で応急処置を行うための新たな技術が生み出されつつある。

一連の教訓や経験を、「次」の災害に備えて広く共有していくことは、未曾有の大災害を経験した者としての社会的使命である。

ところで、東日本大震災の被災地では、様々な事情により、過去数百年かけて築かれてきた地域社会そのものが存亡の危機に直面している。被災地で復興に取り組む人びと、やむなくふるさとを去る人びと。過去との、また人びと同士をつなぐをどのように保ち、地域を再建して将来につなげていくのか。震災から五年を経て、今後は救出した古文書を活用し、「ふるさとの歴史」を通じた社会的つながりを作り出すことで、人び

との心の復興に少しでも寄与できればと考えている。そのことは、過去の歴史資料を通じた新しい社会作りという課題への取り組みだともいえよう。



写真3 東日本大震災での被災史料レスキュー（2012年3月 宮城県栗原市）

シチズン・サイエンス

## 古文書解読からの市民科学

「古文書など調べて何の役に立つのか」。本質的な問いかけである。日本の古文書には、過去の自然災害への対応、さらに日本列島の自然環境と人間の営みに関する技術や思想に関する情報が数多く含まれている。労力と時間、経費をいとわず読み解くことで、歴史研究の枠を越えた、現代的な環境問題への手がかりも多く得られよう。内容のより本質的な理解には、文系の歴史研究者に加え、理系分野の知見が必須だとも考えている。

さらに、この研究には一般市民も参加できるということを強調しておきたい。古文書は、訓練を積めば、一般の方でも読めるようになるからである。というより、膨大な古文書の掘り起こしに、ぜひ市民の皆様の協力をお願いしたい。くずし字を解読し、簡単な解説を付け、その内容を共有していくことが重要である。なぜなら、文献歴史学が記録の解釈を分析手法と

する以上、新しい古文書を発見することは、一枚の紙片であっても、これまでの史実を覆すだけの意義を持ちうるからである。専門研究者の立場を危うくするような発見さえありえよう。

天体観測において、アマチュア天文家が新たな星を数多く発見し、宇宙の地図作りに寄与している。これに習い、「星の数ほどある」古文書から、研究者と市民が力を合わせて新たな史実を見つけ、社会と共有していく。古文書解読からの市民科学（シチズン・サイエンス）の場を創っていくことにも、少しずつ取り組みははじめたところである。（写真4）

その中で、2015年6月、いわゆる「文系廃止」通達に接した。グローバル化の中では「地元の古文書を読む研究」など、もはや無用の営みなのだろうか。その一方、多くの市民や企業の方々から励ましの言葉をいただいたのは幸いであった。

地域の人びととの交流を通じて、私自身がその存在を確信する「社会的要請」に応えるため、引き続き着実な活動を続けていきたい。



写真4 市民と協同した古文書の解読作業（2015年12月）

東北大学 災害科学国際研究所 歴史資料保存研究分野 准教授  
佐藤 大介（さとう・だいすけ）

専門は江戸時代史、歴史資料保全学。博士（文学）、東北大学大学院文学研究科博士課程単位取得退学、東北大学大学院文学研究科COEフェロー、東北大学東北アジア研究センター助教などを経て、2012年6月より現職。

住所：仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1  
電話：022-752-2143  
E-mail：dsato@irides.tohoku.ac.jp





# 固体酸化物形燃料電池の高性能化を目指した材料開発

東北大学 大学院 環境科学研究科 准教授 八代圭司

八代 圭司 (やしろ・けいじ)

神奈川県出身。東北大学大学院工学研究科・機械知能工学専攻博士前期課程修了。論文提出にて博士(工学)。東北大学科学計測研究所・助手、東北大学多元物質科学研究所・助教、講師、スイス連邦工科大学チューリッヒ校材料学科・客員研究員(平成20年11月より1年)を経て、現職に至る。



## 研究の背景と経緯

固体酸化物形燃料電池の実効率を向上させるには反応抵抗を低減する必要があり、一般的に作動温度を上げることで、電極での反応損失を減少させることが可能である。一方で、高温作動化は材料コストの増加や長期信頼性の低下に繋がるため、システムの作動温度はこれら相反する条件を最適化する形で決定される。それゆえ、高い作動温度と同等の性能を、低温で達成できれば信頼性、コスト面で大きな利点となる。

このような背景から近年、高温作動の固体酸化物形燃料電池

の低温作動化に向けた研究開発が活発に行われている。特に酸素還元反応は低温化に伴い、過電圧が著しく増加するため、低温で高性能な空気極材料の開発は重要な課題である。ペロブスカイト型酸化物の(La,Sr)CoO<sub>3</sub>は、高いイオン・電子混合導電性を持つため600-800°C程度の中温域で空気極材料として注目されてきた。モデル薄膜電極ではバルク中の酸素拡散は十分速く、表面での酸素取込反応が律速になることが報告されており、表面反応速度を向上させることで低温作動時の更なる高性能化が期待できる。以下に、関連した一連の成果を報告する。

## 研究内容と進捗

酸素取込反応を向上させる方法の一つとして、これまで異なる特性をもつ材料を組み合わせることでヘテロ界面を形成し、低温での反応性を向上させる可能性を示してきた。パルスレーザー堆積法によりLa<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3</sub>[LSC113]表面に層状ペロブスカイト構造の(La, Sr)<sub>2</sub>CoO<sub>4</sub>[LSC214]を修飾したヘテロ界面を作製し、<sup>18</sup>O同位体交換およびSIMSによって、酸素交換反応の評価を行った結果、600°CにおいてLSC214とLSC113のヘテロ界面近傍で、表面酸素交換反応が大きく促進されることを見出した。(図1) すなわち、LSC214/LSC113ヘテロ界面で、LSC113空気極で

律速となる表面反応が大きく促進されることから、この結果を応用し、表面反応が高速化されるLSC214/LSC113ヘテロ界面を実装した電極を設計することで、LSC113電極より高い性能を示すと予想できる。

また、律速段階となりうる表面反応を実用電極に近い形で詳細に評価するために、酸素の同位体を用いたパルス同位体交換による評価法の開発も行ってきた。(図2) 本手法では導入した<sup>18</sup>O<sub>2</sub>ガス量は表面での酸素取込反応の速度に依存して減少するため、気相ガス種の時間変化を分析することで電極材料の表面反応速度を直接的に評価することができる。

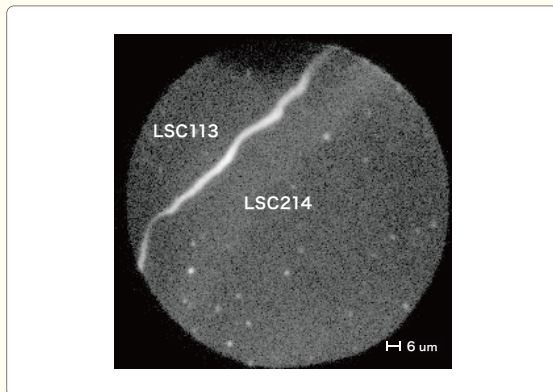


図1 酸素同位体<sup>18</sup>Oを利用したLSC214/LSC113ヘテロ界面における酸素取込反応の可視化

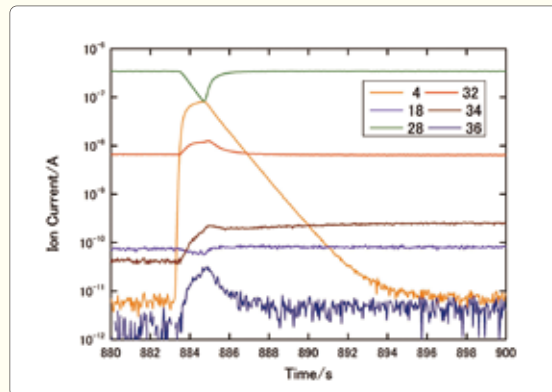


図2 パルス同位体交換法によるLSC113粉末試料の酸素取込反応評価 (500°C, 0.05%O<sub>2</sub>)

## 今後の展開

これまで一般的な電極設計手法として、材料の組成制御により電極触媒活性の制御が行われていたが、本研究で示したヘテロ界面導入等の新しい設計手法による材料開発や、より直接的な律

速段階の評価法の開発を進めることで、固体酸化物形燃料電池の更なる高性能・高機能化の糸口になる可能性を秘めていると考えており、これらの研究開発を通じて、エネルギーを高効率に利用する低炭素社会の実現に貢献したいと考えている。



# 建設機械の掘削作業による 地盤定数推定モデルの構築

東北大学 大学院 環境科学研究科 助教 里見知昭

里見 知昭 (さとみ・ともあき)

立命館大学理工学部土木工学科を卒業後、同大学大学院理工学研究科環境社会工学専攻博士前期課程へ進学。その後、同研究科総合理工学専攻博士後期課程へ進学し、2010年3月に博士(工学)の学位を取得。2010年4月に東北大学大学院環境科学研究科の助教(特任)として着任し、現職に至る。



## 研究の背景と経緯

近年、わが国の建設施工において、熟練者不足や低い労働生産性が課題である。そこで、平成25年3月に国土交通省は「情報化施工推進戦略」を発表し、情報通信技術を活用し建設施工の品質と建設事業の信頼性の向上を目指した建設工事を推進している。併せて、近年多発する自然災害の復旧作業では二次災害の危険性を避けるため、無人化施工も採用されている。しかし、無人化施工では車体に取り付けたカメラ映像からの視覚情報に頼っている

ため、様々な土質や含水状態などに対応できず、有人作業よりも効率が悪いと言われている。

そこで、視覚情報に加えて、建設機械の掘削作業から得られる抵抗力(触覚情報)を活用し、地盤定数(粘着力 $c$ 、内部摩擦角 $\phi$ 、コーン指数 $CI$ など)を定量的に把握することができれば、作業効率の向上につながると考えた点、また通常の建設施工の品質管理にも貢献できると考えた点が、本研究の着想に至った経緯である。

## 研究内容と進捗

本研究では、建設機械の中で最も多く使われているパワーショベルの掘削作業から地盤定数( $c$ 、 $\phi$ 、 $CI$ )を推定可能なモデルを構築するため、まず土質条件やバケット幅を種々変更して室内模型掘削実験(図1)、一面せん断試験、コーン貫入試験を行い、掘削抵抗力と地盤定数の関係について考察した。その結果、掘削抵抗力および地盤定数は土質や含水状態などの影響を複雑に受けるため、掘削抵抗力と地盤定数の関係は非線形性であり、計測データの散らばりも確認された。

そこで、多変量間の非線形性データを容易に定式化できない場合に有効とされるニューラルネットワークのBack Propagation

Neural Network(BPNN)を用いて、バケットによる掘削作業から地盤定数を推定するモデル構築を行った。(図2)ニューラルネットワークは、人間の脳神経系(ニューロン)による情報伝達処理システムを数学的にモデル化したもので、文字認識や音声認識、ロボット制御、地盤防災など多くの工学分野で応用されている。入力データは、(1)バケット掘削における一回目の抵抗力 $F_1$ 、(2)  $F_1$ のときの水平からのアーム角度 $\theta_1$ 、(3)バケット幅 $W$ と設定し、地盤定数推定モデルの構築を行った。BPNNによる推定精度はほとんどの実測値に対して $\pm 5\text{kPa}$ であり、BPNNを活用することで掘削作業から地盤定数を推定できることを明らかにした。(図3)

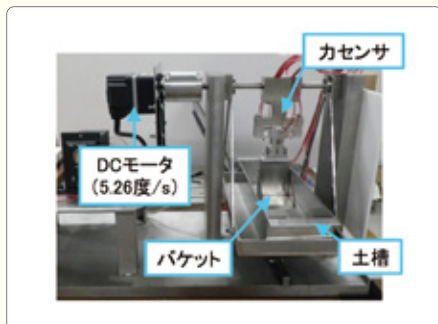


図1 室内模型掘削実験装置  
(実機の約1/20スケール)

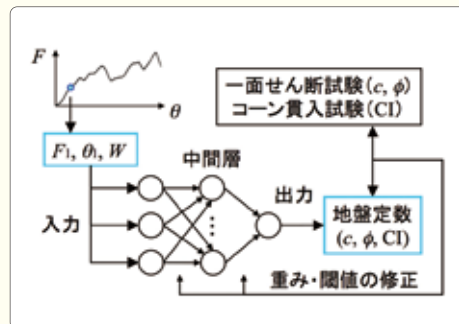


図2 BPNNによる推定モデル構築の概要

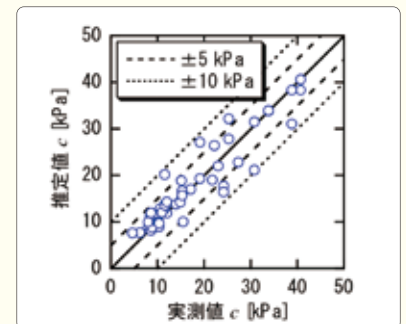


図3 粘着力 $c$ の実測値(一面せん断試験結果)とBPNNによる推定値の比較結果

## 今後の展開

本研究では、室内模型実験を通じて掘削作業から地盤定数を推定するモデルを構築してきた。しかし、本研究で構築した地盤定数推定モデルをそのまま実機の掘削作業に採用することは難しい。そこで、実機による計測データを蓄積し、実機に対応した推定モデルを構築していきたいと考えている。併せて、計測データの精査とニューラルネットワークの計算パラメータについて詳しく

検討し、推定精度の向上を図っていきたい。

また、地盤定数(粘着力 $c$ 、内部摩擦角 $\phi$ )の把握は建設施工のみに限らず、降雨に対する斜面崩壊の危険度を定量的に評価する上でも重要であると言われている。そこで、本研究成果の「土と金属材料の相互作用問題」を基礎に、地盤定数の現地計測手法の開発を新たに取り組んでいきたいと考えている。

## 青葉山新キャンパス地区に 「環境科学研究科本館」が完成

自然環境を活かした環境調和型キャンパスの整備が進む青葉山の新キャンパス地区に昨年の10月「環境科学研究科本館」が竣工しました。この本館では「ソーラーチムニー」というシステムを採用しています。これは建物内に煙突状の空気の通り道(チムニーシャフト)をつくり、チムニー内外の温度差による上昇気流を発生させ、その誘引効果により建物全体の自然換気を行うシステムです。この他、省エネなどの環境技術や建物の環境性能に関する研究の取り組みを実践できる場の提供が可能な造りになっています。

さて、平成28年4月から本館の本格稼働を前に、仙台市地下鉄東西線が開業となり、待望の「青葉山駅」がオープンしたことで、東北大学青葉山キャンパスへのアクセスが便利になりました。その地下鉄の駅から徒歩数分という立地環境の良い本館は新たな教育と研究の場として大いに機能すると期待します。また、平成21年から当研究科と「連携と協力に関する協定」を締結している仙台市が運営する「環境交流サロン」が本館の1階スペースに移転し、さらに「せんだい環境学習館たまきさんサロン」として

リニューアルオープンいたします。このサロンは仙台市が地域住民の環境に関する教育、学習、情報発信、交流活動の場として開設しているものです。このサロンの受け入れを契機に、ますます仙台市との連携を深め『環境・科学』を題材に市民向け講座や親子参加型のワークショップなどを継続的に開催する予定です。



環境科学研究科本館 外観

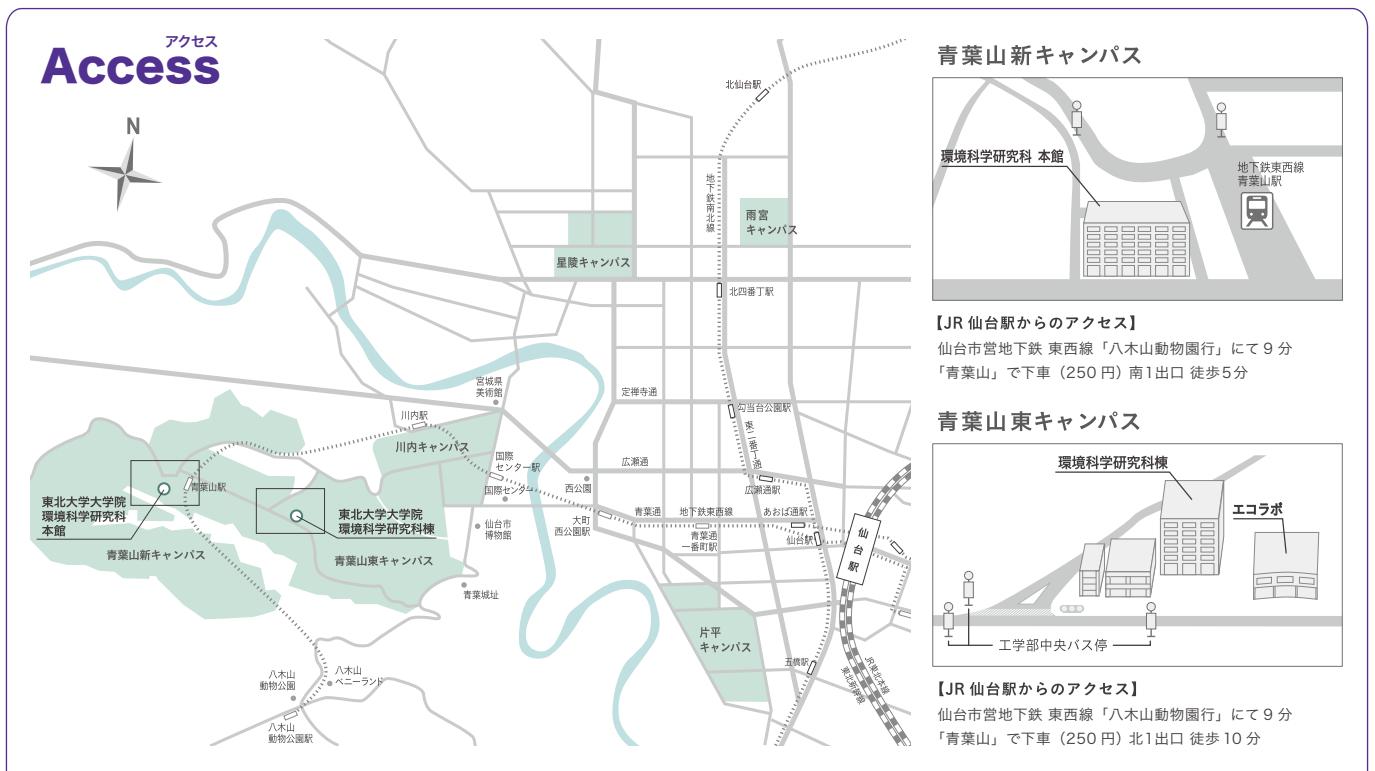
さらに上記の活動を実施することにより、多様な知見を有する総合大学として、産・学・官・民との密接な連携の下で、産学連携による環境関連産業の育成と振興、学生や市民への環境啓発の促進、先進的な教育と研究のアウトリーチ活動、ステークホルダーの結びの場まで、幅広い活動を展開していきます。

青葉山の環境科学研究科本館から「環境共生と持続可能な社会の構築の情報発信」と「地域に開かれ地元の発展に貢献できる東北大学」の実現を目指して、新しい「知・縁コミュニティ」の形成を推進いたします。

さらに上記の活動を実施することにより、多様な知見を有する総合大学として、産・学・官・民との密接な連携の下で、産学連携による環境関連産業の育成と振興、学生や市民への環境啓発の促進、先進的な教育と研究のアウトリーチ活動、ステークホルダーの結びの場まで、幅広い活動を展開していきます。



屋上にあるソーラーチムニーの設備  
(ガラス張りので効率よく空気を温める)



## News Letter

環境科学研究科ニュースレター NO.17 / 2016年3月発行  
表紙：仙台市内ペン淡彩画グループによる写生会の様子  
(2015年9月撮影)

東北大学大学院環境科学研究科  
Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

【環境科学研究科本館】〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1  
TEL 022-752-2233(総務係) FAX 022-752-2236  
<http://www.kankyo.tohoku.ac.jp/>

