

特色ある研究の成果

平成26年度「特色ある研究」

No	所属	代表者	研究課題
1	生命・環境学系	塘 忠顕	遷移途中にある自然環境を自然遺産として良好に保全するための研究モデルの策定-磐梯朝日国立公園の人間と自然環境系(生物多様性の保全)に関する研究-
2	物質・エネルギー学系	杉森 大助	体外臨床診断薬用酵素の開発
3	物質・エネルギー学系	島田 邦雄	カエデの種型風車を用いた被災地と震災時における電力確保のための小型風車に関する研究
4	経済学系	吉田 樹	「くらしの足」としてのタクシーの選択可能性向上に関する実証研究

遷移途中にある自然環境を自然遺産として 良好に保全するための研究モデルの策定

—磐梯朝日国立公園の人間と自然環境系（生物多様性の保全）に関する研究—

Research Project for Regeneration of Harmonies between Human Activity and Nature in Bandai-Asahi
National Park

代表者 共生システム理工学類 教授 塘 忠顕

磐梯朝日遷移プロジェクトとは

磐梯朝日国立公園の裏磐梯地域や猪苗代地域には人間と自然環境との関わりに関する様々な問題が生じている。しかし、解決策提示や原因解明の材料となる自然環境、生物多様性、水循環・物質循環に関する基礎データが不足していた。磐梯朝日遷移プロジェクト（正式名称：遷移途中にある自然環境を自然遺産として良好に保全するための研究モデルの策定—磐梯朝日国立公園の人間と自然環境系（生物多様性の保全）に関する研究—）は、自然環境や生物多様性を維持・保全しつつ、それらを持続可能な形で人間が利用していくための方策解明を目指して、文部科学省の支援を受け（特別経費（プロジェクト）採択事業）、2012年度～2015年度までの4年間、延べ16名の研究者によって実施されたプロジェクトである（メンバーはプロジェクトのHP [<http://www.sss.fukushima-u.ac.jp/bandai-asahi-project/index.html>]を参照のこと）。本プロジェクトによる主な成果を紹介する。

裏磐梯地域の湖沼群の水とその流動

裏磐梯地域の銅沼、弥六沼、毘沙門沼と裏磐梯スキー場に設置した地下水観測孔にて、水位と水温の連続観測を実施した。その結果、水位変動幅は銅沼>弥六沼>毘沙門沼と下流ほど小さくなることが明らかになった。毘沙門沼では水温プロファイル測定と水質分析も実施した。その結果、沼の南西部と中央部南側で地下水が湧出している兆候が認められた。毘沙門沼

に地下水が湧出することは、毘沙門沼に流入する表流量の現地観測、毎時の水位、水温および水質のモニタリングからも確認された。この地域における観測結果から、銅沼付近で浸透した地下水は北に向かって流動し、裏磐梯スキー場付近の地下を通過した後に北東に向きを変え、五色沼湖沼群の中央部付近に向かって流動しているものと推定された。

毘沙門沼など五色沼湖沼群の湖沼水が鮮やかな青色に見えるのは、湖沼水中の微粒子アロフェンによる光の散乱が原因とされてきた。しかし、この微粒子がどのような粒子径及び形態で存在し、散乱に寄与しているのかは不明であった。そこで、この微粒子の粒径分布、粒子形状、その元素組成や結晶構造を解析した。その結果、この微粒子は形状が円筒状で、外径約40 nm、長さ約70 nm、円筒の中心に孔径30 nmの細孔をもつこと、非結晶性を示すケイ酸アルミニウムで構成され、アルミニウムとケイ素の比が2:1であることが明らかになった。アロフェンもケイ酸アルミニウム微粒子であるが、形状やpH依存分散特性、赤外線吸収スペクトルから、この微粒子はアロフェンとは異なる新しい微粒子である可能性が高い。

桧原湖の湖底堆積物と水に関する問題

裏磐梯地域最大の湖である桧原湖の北部、糠塚島北（長井川河口沖）と会津川河口沖の2ヶ所で湖底堆積物のコア試料を採取し、湖底堆積物中の放射性セシウムの鉛直分布を測定した。糠塚島北のCs-137の濃度は最大2,200 Bq/kg

で、インベントリは 58.2 kBq/m² と、桧原湖北部域の土壌におけるインベントリ (10-30 kBq/m²) を大きく上回った。一方、会津川河口沖ではそれぞれ 1, 120 Bq/kg、19.5 kBq/m² と周辺土壌と大きな違いはなかった。この違いは流域の放射性セシウム沈着量の違いを反映したのではなく、堆積過程を反映したものと推定される。Cs-137 と Cs-134 の見られる層は、糠塚島北は 0-20 cm、会津川河口沖は 0-10 cm であった。これは糠塚島北の堆積物の供給源と考えられる長井川の流域面積が、会津川のそれよりも大きいことに起因していると考えられた。

桧原湖の水は長瀬川を介して猪苗代湖に運ばれる。そのため、猪苗代湖の大腸菌群数が環境基準値を超過している問題と関わって、桧原湖北部における大腸菌群数の計数と同定による糞便汚染の調査が実施されてきた。桧原湖北部、桧原湖北部流入河川、野生動物の糞便からそれぞれ検出された大腸菌群について、*lacZ* 遺伝子の 240bp の部分塩基配列を用いた由来推定を実施した。その結果、*Escherichia coli* (大腸菌) は 26 株が見出され、それらから 10 種類の塩基配列パターンが検出された。各パターンの分布は桧原湖北部の西側と東側で異なっており、付近の流入河川で出現したパターンと類似していた。これは桧原湖北部の大腸菌は流入河川由来のものが多い可能性を示唆している。

裏磐梯地域の生物多様性

裏磐梯地域の植生は自然の遷移によって生じたもの、あるいは一部で植林がされたものの多くが自然植生であると考えられてきた。しかし、文献および資料を精査し、アカマツの生育密度や現在の植生の違いに基づいて 5 つの地域・地形を区分して裏磐梯高原の陸上の植生変遷をたどることを試みた。その結果、裏磐梯高原で現在見られる植生は、植林、伐採、茅刈りなどの人為的な影響を色濃く反映したものであると考えられた。裏磐梯高原の景観や植生が

人の活動と自然の調和によってできてきたという事実から、新たな価値を見出していくべきであると思われる。

裏磐梯高原の生物多様性の特徴の一つとして、泥流上に新しく生じた場所の生物群集であり、一次遷移の途中相であることが挙げられる。そのため、泥流に埋もれることのなかった周囲とは生物相が異なる場合がある。森林性の地表徘徊性甲虫類は 1888 年の磐梯山噴火による影響を受けた場所とそうではない場所との間で群集構造に大きな違いがあることが明らかになった。森林土壌に生息するカニムシの仲間にも、*Microbisium* 属の一種のように福島県内の他の産地や他県の産地とは遺伝的に顕著に異なる集団が遷移途中相に分布していることが明らかになった。

水環境が豊富な裏磐梯地域からは、ゲンゴロウ、ヒメミズスマシ、モノアラガイなど 12 種の保護上重要な種を含む 370 種群以上の底生動物の生息が確認された。一方、ウチダザリガニなどの侵略的な外来生物を含む 6 種の外来底生動物も分布している。外来底生動物は保護上重要な種が生息している池沼、河川、あるいはその付近に分布しており、保護上重要な種を含む在来種への負の影響が懸念される。

裏磐梯地域・猪苗代地域の地下水などの水質

磐梯山とその周辺で実施した地下水、湧水などの調査の結果、磐梯山山体の地下水などの水質は場所によって異なる傾向が認められ、地質や滞留時間の影響を受けているものと考えられた。また、磐梯山周辺の地下水などの水質は、地質、土地利用、涵養域の違いなどによる影響を受けていることが示唆された。

猪苗代平野の蜂屋敷地区に設置した 2 つの地下水観測孔による観測、猪苗代平野内の 44 ヶ所の既存井戸と湧水に関する調査の結果、猪苗代平野内の水質分布は既知の平面的な水質区分に加えて、浅層と深層との間でも異なること

が明らかになった。また、猪苗代平野中央部の深層部には、硫酸イオンを多く含む $\text{Na}-(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$ 型の地下水が分布することも明らかになった。猪苗代平野の地下水には飲料水の水質基準を超えるヒ素やマンガンが含まれることがあるため、地下水の利用には注意が必要である。

猪苗代湖の形成史

猪苗代湖の湖心部において2012年に採取した長さ約28mの湖底堆積物コアの堆積学的検討を行った結果、猪苗代湖が現在ある地域は、猪苗代湖形成以前の網状河川環境から閉塞的な停滞水域へと変化し、さらに現在の猪苗代湖のような大水深の湖底へと環境が移り変わったことが明らかになった。また、堆積学的検討と猪苗代湖の形成に関するこれまでの研究成果から、約5万年前に発生した翁島岩屑なだれ堆積物により古猪苗代盆地の河谷が堰き止められたことが猪苗代湖形成の直接的な要因と考えられた。

裏磐梯地域・猪苗代地域の気候・水循環

裏磐梯地域や猪苗代地域における水循環、降雪、積雪の特徴を把握するため、周辺の地形、気候的に類似した流域との比較検討も加えた調査を実施した。その結果、長瀬川流域の積雪は日本海の海水や表面海水温度の影響が弱く、この地域固有の積雪過程の存在が示唆された。長瀬川流域直下にある猪苗代湖は貯熱量が大きいこと、この大型湖沼が地域固有の水循環過程を駆動させているのかもしれない。

気象庁アメダス観測所の降水量データの解析、全球再解析データJRA25を力学的ダウンスケールして作成した福島県内の10kmメッシュの実蒸発散量データの使用によって、裏磐梯・猪苗代集水域における1979～2011年の6～8月期の水収支を解析した。その結果、降水量から実蒸発散量を引いた水資源付加量は裏磐梯地

域で多く、猪苗代湖を中心とした地域で少ないことが明らかになった。

猪苗代湖や裏磐梯湖沼群がある磐梯山周辺の気候変化を解析し、既知の湖沼水温観測データを基に湖沼表面水温の変化を予測した。その結果、磐梯山周辺では、この間平均気温が $5^\circ\text{C}/100$ 年程度の比率で上昇していること、降水量は10mm/年で増加し、降雪量は20cm/年で減少していることなどが明らかになった。また、1981～2000年までの観測データを基に全球モデルで予測されたデータを補正し、磐梯山周辺の2100年までの気温上昇を予測した。その結果、RCP2.6(CO_2 濃度換算421ppm)で約 2°C 、RCP8.5(CO_2 濃度換算936ppm)で約 5°C の気温上昇が予測された。この気温上昇に伴う降雪量の変動は大きく、RCP8.5では2050年頃から雪が降らなくなること、湖沼群の平均表面水温も 2°C 程度上昇することが予測された。今後大きな気候変化が磐梯山周辺でも予測されるため、生態系の保全のためにも緩和策としての温室効果ガス削減と、こうした予測を見通した適応策が必要である。

本プロジェクトでは4年間の研究成果とそれに基づく裏磐梯地域や猪苗代地域の自然環境の維持、保全、管理に関する提言を掲載した書籍『裏磐梯・猪苗代地域の環境学』を2016年3月に出版する。そちらも是非ご覧頂きたい。

本プロジェクトは「実践的研究能力と包括的判断力を有する人材育成」を推進する教育プロジェクトでもある。プロジェクトのメンバーの研究室の多くの学生・院生が、他分野・異分野の研究者による分野横断型の研究活動を経験し、鍛えられ、多面的な視野を身につけてきた。また、地域の人たちとの連携によりコミュニケーション能力も獲得してきた。今後もプロジェクト研究を継続し、地域の問題解決に資すると同時に、優れた理工系人材育成に力を注いでいきたい。

体外臨床診断薬用酵素の開発

Development of diagnostic enzyme.

代表者 共生システム理工学類 教授 杉森 大助

○成果の概要

緒言

アルツハイマー型認知症は全世界で約 3,000 万人いると推定され、高齢化社会の大きな問題となっている。軽度認知症患者の早期治療によって症状の改善や進行の遅延が可能であり、患者および患者家族の QOL の維持など、多くのメリットが期待できる。したがって、認知症発症初期段階で発見することは極めて重要になる。しかしながら、現在、認知症の主な検査方法は対面式認知機能検査で、この方法では早期発見は極めて難しい。特別な大型装置を用いた検査方法もあるが、設備費や専用試薬が高額であり、さらに煩雑な前処理、長時間の分析を必要とする等、健診などで多くの人数を広く検査することはほぼ不可能に近い。そのために、軽度認知症患者の早期発見は極めて困難な現状となっている。

そこで本研究では、血液 1 滴あれば診断が可能な簡便かつ安価な体外臨床診断薬の開発に必要な酵素の開発を目指した研究を行った。

研究成果

アルツハイマー型認知症の早期診断マーカーとして血中のエタノールアミン型プラズマローゲン (PlsEtn) が有望であり (*J. Psychiatry Neurosci.* 2010)、この物質を特異的に比色定量できる酵素反応系が構築できれば、アルツハイマー型認知症を早期発見する画期的な体外診断薬の開発が可能になると考えた。そこで本研究では、図 1 に示すスキームを考案し、各反応で必要となる酵素の探索を行った。

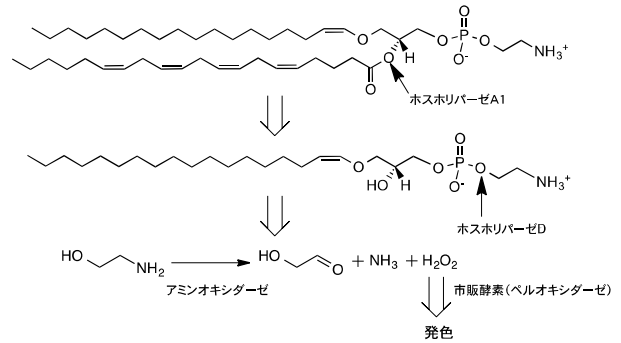


図 1. アルツハイマー型認知症を早期発見する体外臨床診断薬用酵素の酵素反応スキーム

まず、初発酵素として PlsEtn を加水分解する酵素の探索を行ったところ、市販酵素ホスホリパーゼ A₁、ホスホリパーゼ A₂、ホスホリパーゼ B には PlsEtn 加水分解能を見出すことができなかった。一方、以前我々が見出した放線菌由来ホスホリパーゼ A₁ (PLA1) が PlsEtn の sn-2 位アシルエステル結合を加水分解できることを発見した^{1,2)} (図 1)。

次に、その生成物であるエタノールアミン型リゾプラズマローゲン (LyPlsEtn) を分解できる酵素の探索を行った。その結果、LyPlsEtn からエタノールアミン (Etn) を遊離するホスホリパーゼ D (LyPls-PLD) を好熱性放線菌が分泌生産することを見出した²⁾。本酵素の遺伝子を取得してアミノ酸配列を解読した結果、既知タンパク質とは著しく配列が異なっていたことから新規酵素であることがわかった。さらに、大腸菌を用いて本酵素の組換え高生産法を確立した。

最後に、LyPls-PLD の作用により生じた Etn を酸化して過酸化水素 (H₂O₂) を生じるアミノ酸化酵素 (AOX) の探索を行った。その結果、

Etn に高い親和性を持ち、市販酵素と比較して約 15 倍の触媒効率を持つ新規 AOX (SrAOX) を生産するカビを見出すことに成功した³⁾。Etn の酸化により生成した過酸化水素は、市販酵素ペルオキシダーゼにより、色素共存下で紫色に発色させ、その濃度を測定することができる。これにより、図 1 に示すスキームに必要な酵素がすべて揃ったことになる。これらの酵素は、いずれも世界で初めて発見したもので、国内および国際特許出願するとともに、国内外における学会発表（招待講演 1 件含む）ならびに 2 報の国際誌を発表することができた。

さらに、発見した酵素については、詳細に物理化学的および生化学的解析を行った後、得られた結果に基づいて PlsEtn の比色定量法を検討した。その結果、エンドポイント（終点アッセイ）法による測定が適していることがわかった。そこで、我々が開発した 3 種類の酵素 (PLA1, LyPls-PLD, SrAOX) と市販酵素ペルオキシダーゼ (POD) を用いて、エタノールアミン型リン脂質であるホスファチジルエタノールアミン (PE) と PlsEtn の定量実験を行った。まず、模擬サンプル（既知濃度の PlsEtn を含む生理食塩水と実血液に既知濃度の PlsEtn を添加したサンプル）中の PlsEtn の定量を行った。その結果、図 2 a に示すように極めて直線性よく低濃度まで PlsEtn を測定できることがわかった²⁾。また、従来の測定法である高速液体クロマトグラフィー法と一致した定量結果を得ることができた（図 2 b）。PE についても直線性よく、低濃度まで測定可能であった（図 3）³⁾。以上より、市販酵素 1 つを含む計 4 種類の酵素を用いて血液中の PlsEtn および PE を簡便、迅速、高感度に測定できる方法を開発することができた。

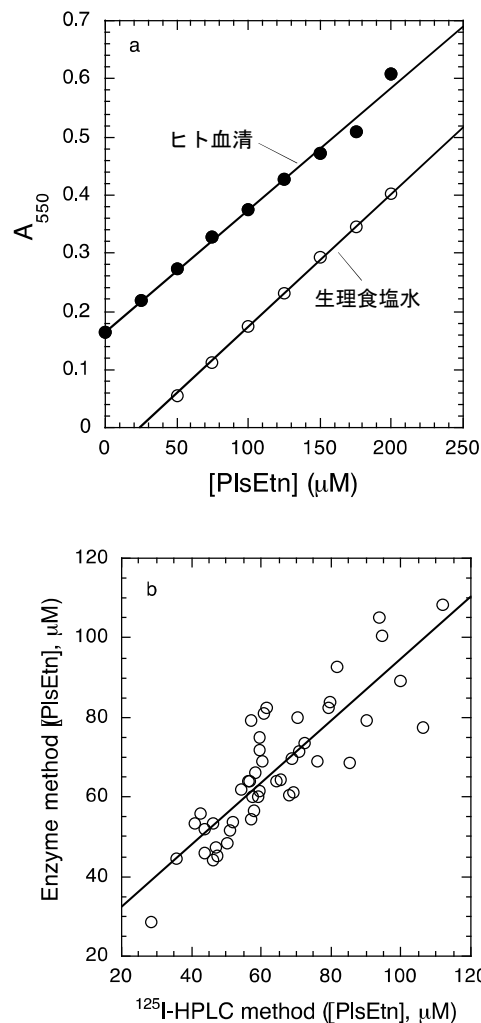


図 2. 酵素法による既知濃度 PlsEtn の分析結果 (a)、酵素法と従来 (HPLC) 法によるヒト血清サンプル中の PlsEtn 濃度分析結果の相関関係 (b)

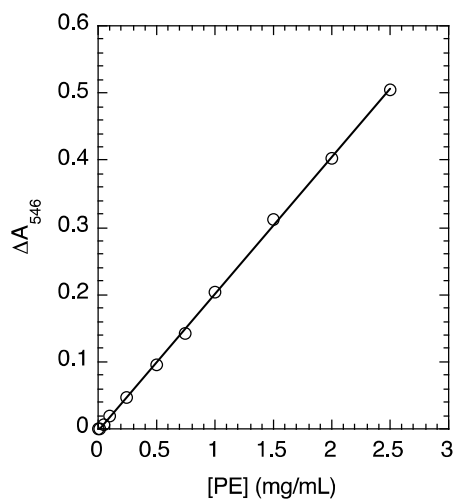


図 3. PE の検量線

研究成果論文

- 1) Shin-ichi Sakasegawa, Ryouta Maeba, Kazutaka Murayama, Hideyuki Matsumoto, Daisuke Sugimori, Hydrolysis of plasmalogen by phospholipase A₁ from *Streptomyces albidoflavus*, *Biotechnol. Lett.*, **38**(1), 109-116 (2015).
- 2) Ryouta Maeba, Megumi Nishimukai, Shin-ichi Sakasegawa, Daisuke Sugimori and Hiroshi Hara, Plasma/serum plasmalogens, *Advances in Clinical Chemistry* (ISBN: 978-0-12-803316-6), Elsevier, **vol. 70, chapter 2**, 31-94 (2015).
- 3) Yoshitaka Hirano, Keisuke Chonan, Kazutaka Murayama, Shin-ichi Sakasegawa, Hideyuki Matsumoto, and Daisuke Sugimori, *Syncephalastrum racemosum* amine oxidase with high catalytic efficiency toward ethanolamine, and its application in ethanolamine determination, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 1-15 (2016).

カエデの種型風車を用いた被災地と震災時における

電力確保のための小型風車に関する研究

Study on small wind turbine for securing of electricity at affected areas and earthquake disaster utilizing maple seed type wind turbine

代表者 共生システム理工学類 教授 島田 邦雄

○成果の概要

2011年の東日本大震災により、東北地方の被災地における仮設住宅では、未だに不自由な生活を強いられている人々が多い。そのためにも、簡易的な方法でコストの掛からない電力供給が必要である。また、震災時における電力確保も同様である。そこで本研究では、再生可能エネルギーの一つである小型風車を取り上げ、本申請者が提案している簡易的に低コストで製作可能なカエデの種型ブレードを適用して、これらの電力確保のための小型風車システムの構築と実証試験を行い、震災から安全・安心して暮らせる国土のための新しい提案と研究を行った。すなわち、理論計算と風洞試験により、カエデの種型風車は、既存のプロペラ型風車に比べて応答時間が早いので、変動に対する出力変化にも対応できることが判明した。したがって、弱風地帯でも十分に対応できる風車であるので、被災地と震災時に十分対応できることが判明した。

まず初めに、矩形型のブレードについて風速8m/s時におけるANSYSを使って数値計算を行い、渦度分布や圧力分布を求め、ブレードが立っている場合（これが従来のプロペラ型ブレードに相当）と寝ている場合（これがカエデの種型ブレードに相当）を比較した結果、後者の方が、ブレードの後流における渦発生が抑制され、低騒音化に繋がること、また、ブレードに加わる圧力が軽減でき、高風速時等におけるブレードへの風の負荷によるブレード強度を確保す

ることができることが判明した。そこで実験では、この圧力分布からブレードに加わる力と、回転におけるブレードに加わる遠心力によるブレードの引っ張り力をこれらの理論値から求め、これに基づいてCFRPを用い製作した。また、次項で述べる大型風洞を用いて行った出力の実験結果と、ANSYSを使って数値計算を行った出力の結果を比較すると、本数値解析による理論予測は、実際の大型風洞試験による実験結果と定性的、定量的にも一致し、本数値解析モデルは、あらかじめ理論予測することが可能であること、また、本数値解析モデルの妥当性が証明できた。さらに、実験室内に風洞試験装置を設置し、発電機からの出力と、発電機の代わりにトルク計を取り付けた時のトルクから算出した出力との比較実験を行った結果、ブレードによる出力係数は、発電機による効率を差し引いたトルクからの出力係数と定量的にほぼ一致することが判明し、市販の定格出力600Wの小型風車（AD-600, SUNFORCE(株)製）のブレードを外した発電機は、最適な発電機であると判明し、以降の実験においては、この電機を採用することとした。

次に、カエデの種型ブレードの形状について矩形型であることが製作上シンプルであり、被災地等での容易な展開のためには好ましいが、さらなる出力の向上が求められるのも事実であることから、改良の余地があるとして、多種のブレード形状について取り上げ、それぞれについて前項と同じ方法によりCFRPで製作し、

まず、実験室内に風速 15m/s まで出せるドデカファンを設置し、これに整流器を取り付けてブレードに風を当て、ブレードに直結した発電機からの出力を測定する実験を行った。その結果、実際のカエデの種を模擬した形状のブレードが最適であることが判明した。

次に、実用化のためには、大型風洞による試験結果を押さえておく必要性があり、そこで、海上技術安全研究所における大型の回流式風洞を用いて、測定部全長 15 m における測定部の入口から約 8 m 下流の位置に風車を設置し、先の最適な発電機に、前項で製作したカエデの種型ブレードを取り付け、試験用風車システムを構成した。その結果、矩形よりもカエデの種の形状のブレードの出力のほうが良いことが判明した。

また、実用化のためには、実地において通常よく見られる風の変動に対する出力の獲得が重要となる。そこで、大型風洞試験による変動風に対する出力の変化を Fig.1 に、従来のプロペラ型ブレードと「カエデ」の形状によるカエデの種型ブレードの比較を示す。これに先立ち、風速 2m/s の定常流における大型風洞試験による出力の応答時間を調べた結果、従来のプロペラ型ブレードよりも「カエデ」の形状によるカエデの種型ブレードの方が、応答時間が圧倒的に早いことが判明した。したがって、図に示すように、変動風に対する発電機による出力も、応答時間が早い「カエデ」の形状によるカエデの種型ブレードの方が大きな出力変化となる。

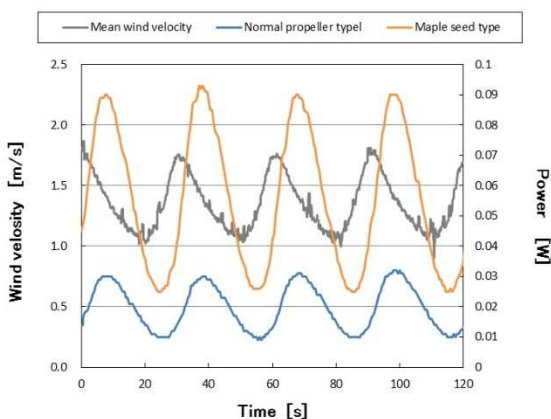


Fig.1 変動風による大型風洞試験結果

次に、「カエデ」の形状によるカエデの種型ブレードを風洞試験で用いた発電機に取り付けて、福島大学の7階建ての理工棟の屋上の端に、カエデの種型風車と、風車直径を同じにした既存のプロペラ型風車を併設した。Fig.2 に、その外観写真を示す。



Fig.2 福島大学の7階建ての理工棟の屋上におけるカエデの種型風車

1 日における累積出力と風速の累積時間の試験により、カエデの種型風車は、弱風であればあるほど出力を稼げることができると判明した。

弱風である場合は、風に対する応答性がありながら高い出力を得ることはより困難になり、既存のプロペラ型風車ではこの点が大きな欠点となっている。そのため、例えば日本の太平洋側などの弱風地帯で小型風車を折角設置したが、思ったような出力が得られないという問題点がよく浮上する。したがって、カエデの種型風車は、カエデの種型風車はそういった問題点を解決してくれる。また、その地域における弱風地帯か強風地帯かによって、カエデの種型風車と既存のプロペラ型風車の使用を選んであげることが良いとも考えられる。

被災地と震災時においては、強風地帯のみで威力を発揮する従来のプロペラ型風車では、十分な出力が得られない。被災地や震災場所は場所を選ばないからである。したがって、カエデの種型風車は、弱風地帯でも十分に対応できる風車であるので、被災地と震災時に十分対応できると結論で

きる.

最後に、本研究の遂行により得た成果の一部を日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集において発表している（島田邦雄, カエデの種型風車の屋外実証試験における考察, No.15-1, J0530305, 2015, 平成 27 年 9 月 13 日～16 日, 札幌). それ故, ここにその一部を抜粋掲載している. また, 平成 26 年度(第 16 回)国土技術研究センター研究開発助成成果報告書より一部抜粋掲載している. 成果公表できたことに対して謝意を表し, ここに付記する.

「くらしの足」としてのタクシーの選択可能性向上に関する実証研究

Experimental Study on Improving Selectability of Taxi Services as Regional Transport

代表者 経済経営学類 准教授 吉田 樹

○成果の概要

路線バスをはじめとする地域公共交通の輸送人員が減少の一途をたどり、地方部を中心にサービスの持続的な提供が課題となる一方、高齢社会に伴う移動困難者の増加に対応した地域交通政策の立案が求められている。

こうしたなかで、都市や地域の骨格を担う基幹的な公共交通網の一方で、地域内できめ細やかに運行する「小さな交通」の確保が欠かせない。近年では、デマンド交通^{*1} (DRT; Demand Responsive Transport) の導入が全国各地で進められているが、ドア・ツー・ドアもしくはリアルタイムに近い配車を行うなど「自由度」の高い運行形態とした場合、単位時間あたりの乗合効率が低くなりやすく、一般のタクシーを活用したサービス提供の方が合理的な場合がある。しかし、タクシーの事業制度は、「流し」「駅待ち」など利用者に選択性の低いビジネスを想定しているが、「小さな交通」の必要性が高い地方部では、電話予約による「非流し」の営業が中心であり、安全を阻害しない範囲で多様な運賃体系を提案することが「くらしの足」としてのタクシーの選択可能性を拡げることにつながると考えられる。

本研究は、埼玉県秩父地域における「回数券タクシー実証実験」(2014年3月～2015年12月)を事例に、「くらしの足」としてのタクシーの選択可能性を向上させるために、運賃の割引や定額制の設定がどのように寄与し得るのか、実証実験に参加した会員(モニター)の個人属性や活動実態の変化、ならびに利用状況のデータを用いて明らかにしたものである。

なお、本実証実験は、秩父地域公共交通検討会議(ちちぶ定住自立圏; 秩父市, 小鹿野町, 皆野町, 長瀬町, 横瀬町)とともに、筆者が企画段階から携わっており、ECOMO交通バリアフリー研究助成(公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団)を受けて実施したものである。また、以下の報文は、吉田(2015)¹⁾を再構成している。

1. 実証実験の概要

回数券タクシーは、ちちぶ定住自立圏内の登録された住所(自宅等)から、鉄道駅3箇所(西武秩父駅, 御花畑駅, 秩父駅), 大型小売店2箇所(矢尾百貨店, ユニクス秩父), 病院2箇所(秩父市立病院, 秩父病院)の計7箇所までの間に限り利用可能であり、それ以外の区間では利用できない^{*2}。券面料金は、自宅等から最も遠い地点のタクシー運賃(距離制運賃)の半額(100円未満切り上げ)とし、上記の7箇所までは、すべて同じ運賃で利用できる(利用実績による月末締めの後払い方式)。なお、実証実験にあたっては、秩父交通圏タクシー5社のうち最多台数を保有する秩父丸通タクシー株式会社の車両を発券(会員募集)主体であるアイサーフ株式会社が通常のメーター(時間距離併用制)運賃もしくは時間制運賃で借上げ、券面料金との差額は、実証実験の実施経費で補填している。

図1は、2014年4月～2015年11月までの各月の利用者数と収入の推移を示したものである。のべ利用者数は890人であり、会員数(2015年11月末時点で68人)の増加とともに毎月の

利用者数も増えてきた。また、2015年3月末までの売上金額（券面金額の合計）は569,000円であり、通常のメーター運賃1,042,130円に対する割合は54.6%であった。しかし、同じ区間であっても、メーター運賃は変動する場合があり、最も低廉な運賃のみを採用した場合（下図の「最小メーター運賃」）に対する割合は61.4%に上昇する。さらに、回数券タクシーの利用者は長距離利用が多い傾向にある。回数券タクシーに供した車両の実働1日あたり収入は1,455円であり、秩父交通圏における1乗車あたりメーター運賃（1,722円（平成25年））の84.5%に相当し、通常のタクシーにおける営業的割引で想定される「1割以内」の減収（「一般乗用旅客自動車運送事業の運賃及び料金の認可申請の審査基準について」）に接近する。したがって、利用者には廉価な価格設定ではあるが、タクシー会社にとっては、通常の営業に近い収入を得ることができていると考えられる。

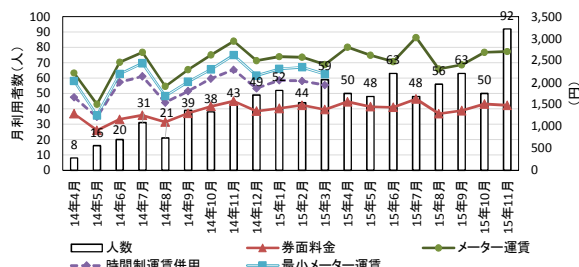


図1 回数券タクシーの利用状況

2. タクシーの選択可能性向上に関する評価

本研究では、回数券タクシーによる運賃の割引や定額制の設定が「くらしの足」としてのタクシーの選択可能性向上にどう寄与し得るのかを評価するために、会員（モニター）を対象としたアンケート調査を実施した。調査対象は、2015年2月末時点で会員であった51人であり、33人から回答があった（締切日：2015年3月25日）。なお、会員の平均年齢は、60.3歳（2015年3月9日時点）であり、高齢者交通施策とし

でのタクシー券の配布対象年齢よりも低くなっている。ここで回答者を利用頻度により3区分する。回数券タクシーの利用経験者は25人であったが、月平均で1.1回以上利用した「高頻度群」（14人）と、それに満たない「低頻度群」（11人）とに分けた。また、「未利用群」は8人である。

表1は、本実証実験に参加した理由を質問した結果を集計したものである。高頻度群、低頻度群ともに「安い料金で利用できる」ことが最も多く挙げられたが、高頻度群では「同じ料金で利用できる」ことを挙げた回答が相対的に多く、統計学的な有意差も認められた（マン・ホイットニーのU検定； $p=0.03$ ）。とくに近距離・低運賃帯では、乗車のたびにメーター運賃が大きく異なる傾向が見られたことから、定額運賃が高頻度層に評価されたと考えられる。

表2は、実証実験による外出環境の変化に関する質問の回答を得点化（4～1点）したものである。その結果、高頻度群では「誰かの送迎に頼らなくてよくなった」（U検定； $p=0.00$ ）、「自家用車を運転しなくなった」（ $p=0.01$ ）、「外出頻度が増えた」（ $p=0.02$ ）、「外出したいと思うようになった」（ $P=0.04$ ）の各項目を肯定する回答が低頻度群よりも有意に多いことが分かった。

以上の結果から、タクシーが廉価かつ定額で利用できるようになったことで、自家用車の運転を控えたいシーンのほか、送迎に頼ってきたシーンでも、タクシーが生活交通として選択されるようになり、外出への意欲や外出頻度が高まるなど、外出機会を増進する効果をもたらしていると結論づけられる。実際に、アンケートに回答した会員（33人）のうち4人が実証実験の開始後、家族や知人等の送迎に頼る頻度が「減った」と答えているが、そのすべてが高頻度層であった。また、「食材を他人に買ってもらう事が無くなった」とする、高頻度層の自由記述もあった。さらに、回数券タクシーの利用者は、通常のタクシー利用者と比較して長

距離を利用する傾向にある。回数券タクシーの割引率は、秩父市中心部の各地点から遠隔になるほど高くなるが、券面料金自体は高額となり、鉄道駅や路線バスが利用可能である場合は、それらの運賃の方が廉価である。しかし、自宅近くに鉄道駅がある会員でも、回数券タクシーが利用される場合もあった。地区内における秩父鉄道の駅構内はバリアフリー化が進んでおらず、身体的に利用が困難だが、特段の介助を必要としない層が回数券タクシーを選好するようになったと考えられる。

事例に一、第 18 回日本福祉のまちづくり学会全国大会概要集、CD-ROM.

表 1 実証実験に参加した理由（複数回答可）

	高頻度群 (n=14)	低頻度群 (n=11)
移動手段に困っていた	21.4%	0.0%
安い料金で利用できる	78.6%	45.5%
同じ料金で利用できる*	50.0%	9.1%
家族等に薦められた	14.3%	45.5%
ホームページで知った*	7.1%	45.5%
ポスター等を見た**	57.1%	0.0%

** p<0.01, * p<0.05

表 2 実証実験による効果

「回数券タクシー」実証実験による変化	高頻度群 (n=14)	低頻度群 (n=11)
① 外出頻度が増えた*	2.67	1.67
② 自家用車を運転しなくなった*	2.89	1.33
③ 誰かの送迎に頼らなくてよくなった**	3.64	2.22
④ 行きたい場所が増えた	2.50	1.67
⑤ 交通費が少なく済むようになった	3.67	3.10
⑥ 外出したいと思うようになった*	2.80	1.63
⑦ 誰かと一緒に出かけることが多くなった	1.70	2.00

数値: 4点(そう思う)~1点(そう思わない)の平均点
** p<0.01, * p<0.05

補注

- *1. 利用者の事前予約に応じて経路やスケジュールを設定する乗合公共交通。本県では南相馬市小高区で運行されていた「おだか e-まちタクシー」（原発事故の影響で休止し、一時帰宅支援交通「ジャンボタクシー」として運行）などがある。
- *2. 2015 年 7 月より、7 箇所に加え、秩父市街地の指定範囲のうち任意の 1 箇所を会員が乗降地に選択できるようになった。

参考文献

- 1) 吉田 樹 (2015). 生活交通としてのタクシーの選択可能性向上に関する実証研究—埼玉県秩父地域「回数券タクシー」実証実験を