

RURSS

Research Unit for Realization of Sustainable Society

令和2年度 研究成果報告書

京都大学 研究連携基盤
持続可能社会創造ユニット



令和2年度 持続可能社会創造ユニット研究成果報告書 目次

化学研究所

木質バイオマスからのアルツハイマー病治療薬候補化合物群の直接合成 Direct Synthesis of Alzheimer's Drug Candidates from Woody BiomassPINCELLA Francesca	3
新規含典型元素材料開発のための基礎・基盤技術の確立 Establishment of Basic Technologies for Developing Novel Materials Containing Main Group Elements行本 万里子	5
ラマン分光法による環境調和型有機フッ素コーティング剤の簡易分析法の構築 Development of Raman spectroscopic technique for analyzing organofluorine materials下赤 卓史	7
自己集合性ワクチンアジュバント Self-Assembling Vaccine Adjuvants上杉 志成	9

エネルギー理工学研究所

ネガティブカーボン経済 Negative Carbon Economy小西 哲之	11
農村に適した再エネ電力貯蔵法の開発 Development of Renewable Energy Power Storage Method Suitable for Rural Areas野平 俊之	13

生存圏研究所

熱帯荒廃草原の植生回復と資源生産に基づく炭素隔離 Energy production, material production and carbon sequestration through revegetation of deteriorated grasslands梅澤 俊明	15
福島県における環境放射能解析および環境回復のための連携研究 Environmental Radioactivity Analysis and Collaborative Research in Fukushima上田 義勝	17
先進環境調和型バイオエタノール生産シナリオの創成 Develop an advanced eco-friendly scenario for bioethanol productionSadat M. R. Khattab	23
5種類の熱帯早生樹からの木材の触媒急速熱分解によるグリーン芳香族化合物の生産 Production of Green Aromatics through Catalytic Fast Pyrolysis of Wood from Five Tropical Fast Growing Trees SpeciesJoko Sulistyo	27

防災研究所

豪雨に伴う土砂災害に対する地域レジリエンスの向上のための実効的斜面ハザード評価ツールの確立と供出 Development of an assessment tool for hillslope hazards by heavy rainfall: toward resilient local society	松四 雄騎	29
網状流路河川周辺の都市の持続的な発展のための最適な河川整備の検討 Suitable river regulation work for sustainable development of cities around braided rivers	竹林 洋史	31
スマトラ島の熱帯湿潤流域を対象にした洪水・火災リスクに対する温暖化適応策 Climate Change Adaptations for Flood and Fire Risks in Humid Tropical River Basins in Sumatra Island	佐山 敬洋	33

東南アジア地域研究研究所

熱帯泥炭地における災害および水文・気象情報の活用 Utilization of Disasters and Hydro-meteorological Information in Tropical Peatland	甲山 治	35
アジアの宗教伝統と持続可能性:歴史的遺産と法律的課題 Religious Traditions and Sustainability in Asia: Historical Legacies and Legal Issues	Matteo Miele	39
インドネシアでの薬物依存症に対する遠隔認知行動療法の実施可能性 Feasibility of tele-delivered cognitive behavioral therapy for substance use disorders	山田 千佳	41

地球環境学

石炭投資撤退運動・ESG投資の金融・産業の行動変容と気候変動業績の変化 Coal Divestment, ESG investments and Behavioral Changes in Financial Institutions and Industries	森 晶寿	47
--	------	----

経済研究所

世代間衡平性の理論 A Theory of Intergenerational Equity	Bruno Strulovici	49
--	------------------	----

学術情報メディアセンター

電力パケットネットワークによるスマートエネルギーマネジメント Smart Energy Management via Power Packet Network	中野 博樹	51
---	-------	----

木質バイオマスからの アルツハイマー病治療薬候補化合物群の直接合成

Direct Synthesis of Alzheimer's Disease Drug Candidates from Woody Biomass

ピンチェラ フランチェスカ¹, 磯崎 勝弘¹, 中村 正治¹, 渡辺 隆司², 韓 立友³,
宮坂 知宏⁴, 舟本 聡⁴

Francesca PINCELLA ¹, Katsuhiro ISOZAKI ¹, Masaharu NAKAMURA ¹, Takashi WATANABE ², Liyou HAN ³, Tomohiro MIYASAKA ⁴, and Satoru FUNAMOTO ⁴

- ¹ 京都大学・化学研究所
Institute for Chemical Research, Kyoto University
² 京都大学・生存圏研究所
The Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University
³ 京都大学・国際高等教育院
Institute for Liberal Arts and Sciences, Kyoto University
⁴ 同志社大学 生命医科学部
Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University

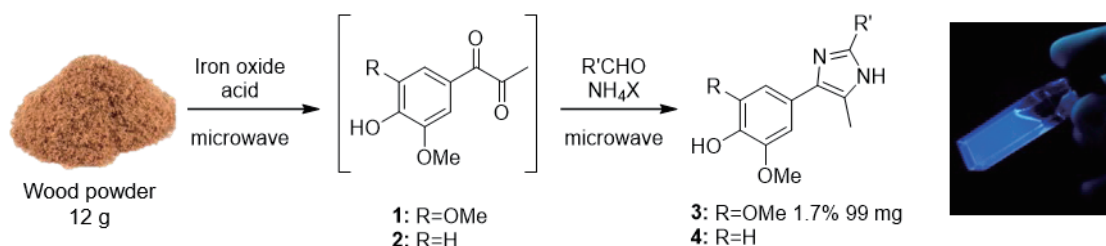
Effective and practical use of woody biomass is a crucial chemical technology to shape our future society in a sustainable *green* humanosphere, which is free from the extravagant consumption of fossil energy and material resources. The ultimate goal of the proposed research is the synthesis of high-value-added bioactive compounds via microwave-assisted one-pot conversion of woody biomass, specifically the lignin in wood. To pursue this project, we gather a new interdisciplinary and international research team from the fields of chemical-, wood- and bio-sciences and technologies.

Key Words : lignin, Alzheimer, drug discovery, green chemistry, woody biomass.

1. Introduction

Lignocellulosic biomass has emerged as a possible alternative renewable source for the production of chemicals and fuels.^[1,2] Specifically, lignin, a key constituent (20–30%) of lignocellulose, is the most abundant aromatic biomass on earth and could serve as a renewable feedstock for the production of high value-added aromatic chemicals (pharmaceuticals, organic electronic materials, etc.). Furthermore, considering the increased interest in cellulose as source of biofuel and the consequent increase in lignin production as a byproduct of the biofuel industry, it is of the outmost importance to devise a strategy to make full use of this promising aromatic biopolymer and develop new routes to obtain chemicals, drugs and functional materials directly from the main products of lignin degradation. Recently, we have successfully pursued the direct conversion of wood to functional imidazole derivatives by microwave-assisted one-pot conversion via diketone intermediates (Scheme 1). Based on their structure, the obtained imidazole compounds were flagged for their promising biological activity and preliminary tests confirmed the efficacy of some of these derivatives as tau aggregation inhibitors, which suggests that they could be effective drugs for Alzheimer's disease. Considering the aforementioned results, we will explore new chemical routes to synthesize a variety of wood-derived high-value added compounds and pursue the systematical investigation of their bioactivity towards the development of sustainable and cost-efficient pharmaceutical drugs for a more sustainable future of our society.

Scheme 1



2. Current results

Imidazole synthesis from wood

Through the ongoing collaboration between Watanabe and Nakamura groups, we have developed a new and highly selective method for the direct conversion of lignin to aromatic diketones **3** and **4** by microwave-assisted reaction. The diketone produced in the microwave assisted reaction could then be converted to imidazole compounds in a one-pot two-steps reaction. This reaction afforded S-type phenyl-substituted imidazole **3** in 1.7% yield based on all lignin monomer units (Scheme 1).

Imidazole synthesis from diketone

In order to explore the bioactivity of various wood-derived compounds, we have synthesized an extensive library of imidazole compounds via microwave-assisted reactions with diketone as starting material, see Table 1. The standard reaction condition using S-type diketone **1** and 1 equivalent of benzaldehyde, 10 equivalent of ammonium acetate in acetic acid gave 84% NMR yield of the target imidazole compound **3**. More than 20 imidazoles (not shown) were successfully synthesized in good to excellent yield, and a small batch of these imidazoles (compounds **3-8**) have already been tested for their inhibitory activity towards tau aggregation. Briefly, recombinant tau protein is co-incubated with candidate compounds from woody biomass. The aggregations of tau and the inhibitory effects of the candidates on protein-aggregate are monitored by Thioflavin-T fluorescence, as shown in Fig. 1. The preliminary tests suggested that compound **6** and **7** possess the highest inhibitory activity towards tau aggregation, which means that they are promising candidate drugs for Alzheimer's disease prevention.

3. Plans

Based on these considerations, we will work on the systematical investigation of the biological activity and potential applications of the compounds obtained directly from woody biomass transformation. At first, we will focus on expanding the library of compounds obtained from diketone **1** based on the results of the preliminary studies, with particular attention devoted to compounds rich in hydroxy groups. We will also verify the solubility of the target compounds in saline solutions and optimize the experimental conditions for the bioactivity studies (e.g. ensure no fluorescence interference in the assay studies). Alongside these efforts, we will attempt to increase the overall yield of the wood to imidazole reaction by screening different catalysts, and by engineering the nanocatalyst surface with lignin-recognizing peptides to improve the reaction selectivity.

The new compounds will then be tested for their biological activity towards the prevention of dementia by in vitro analysis of tau and amyloid- β aggregation. In vivo assays might also be helpful to shed the light on the true bioactivity of these compounds, since natural enzymes are known to be able to demethylate the methoxy group to give a hydroxy group and compounds with two adjacent hydroxy groups on the phenyl ring (catechol moiety) have been found to be very promising for anti-tau aggregation.

References

- 1) Cronin, D.J.; Dunn K.; Zhang X.; Doherty W.O.S. Relating Dicarboxylic Acids to Residual Lignin Structural Features, *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2017**, 5, 11695–11705.
- 2) Kleinert M.; Barth T. Towards a Lignocellulosics Biorefinery: Direct One-Step Conversion of Lignin to Hydrogen-Enriched Biofuel, *Energy Fuels* **2008**, 22, 1371–1379.

Table 1

1 R=OMe, 2 R=H		3 R=OMe, 4 R=H	
Compound	R	R'	yield (%)
3	OMe	Ph	64 (84) ^a
4	H	Ph	63
5	OMe	4-ClPh	96
6	OMe	4-HOPh	66 (95) ^a
7	OMe	3-MeO-4-OHPH	96
8	OMe	2-thiophenyl	60

^a¹H NMR yield.

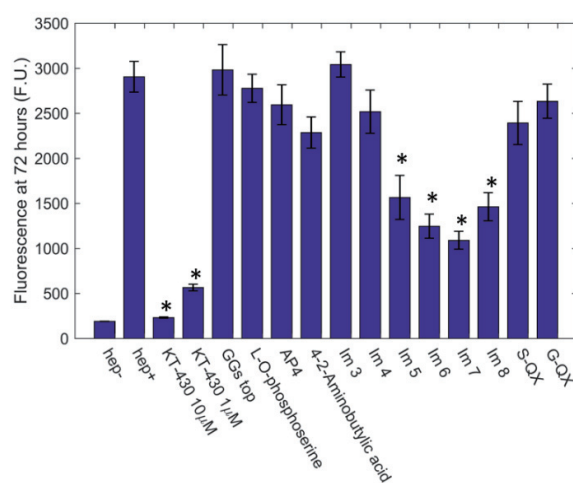


Figure 1 Inhibition of Tau aggregation, Means \pm SE, Sample vs. DW hep+, ANOVA, $F(15, 47) = 31.77$, Tukey (* $p < 0.001$).

新規含典型元素材料開発のための基礎・基盤技術の確立

Establishment of Basic Technologies for Developing Novel Materials Containing Main Group Elements

行本 万里子¹, 箕浦 真生², 時任 宣博¹

Mariko YUKIMOTO¹, Mao MINOURA², Norihiro TOKITOH¹

¹京都大学 化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

²立教大学 理学部化学科

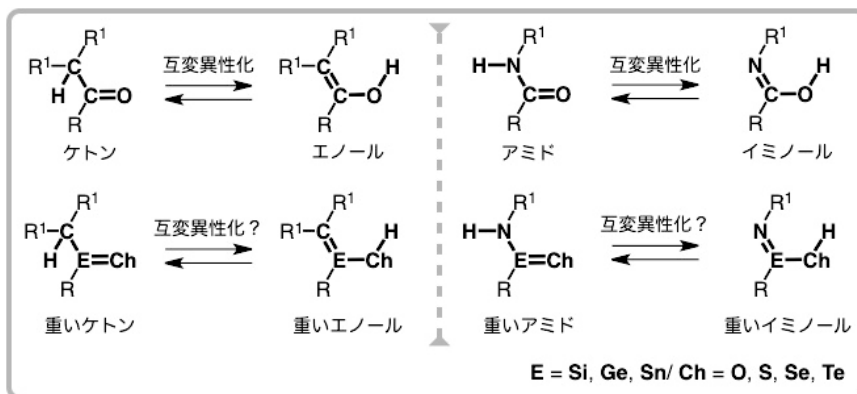
Department of Chemistry, College of Science, Rikkyo University

Keto-enol tautomerization reaction is one of the most important concept in organic chemistry. However, tautomerization has never been explored for the so-called heavy ketones and amides due to the difficulty in the synthesis and steric protection of reactive heavy carbonyl bonds (double-bond compounds between heavier group 14 and 16 elements). In this research, we designed a methylene-substituted bulky aryl groups, TbtCH₂ group, and applied it to the synthesis of highly reactive germanium compounds. The methylene-substituted germylene bearing bulky aryl group and the corresponding heavy ketones having *alpha*-hydrogen were obtained as stable compounds. In addition, we synthesized aminogermylene bearing Tbb group and adamantyl amino group for the precursor of tautomerizable heavy germaamide.

Key Words: Highly Reactive Species; Steric protection; X-ray Crystal Structural Analysis

1. はじめに

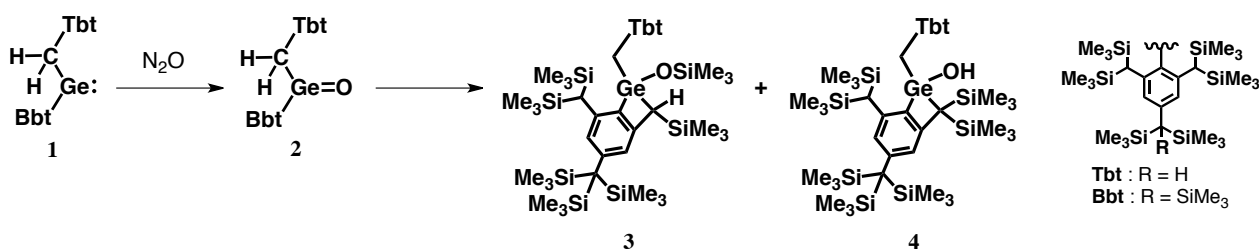
α -水素を有するカルボニル化合物が起こす互変異性化反応は、有機化学における重要な基本概念の一つであり、生体内、自然界など我々の身近に存在する反応である。この互変異性化反応が、「高周期元素を含む多重結合でも起こりうる普遍的な事象であるのか?」は興味深い命題であるが、全く未解明である。これは、高周期元素を含む多重結合が高反応性であり、その合成・単離が困難なためであり、これらの化学結合を研究対象とすることは挑戦的課題であるとも言える。ケトンのカルボニル炭素を高周期14族元素に置換した化学種は重いケトン類と呼ばれており、アミノ基等の孤立電子対の配位による熱力学的安定化や、立体保護基としてかさ高い置換基を導入する速度論的安定化を利用して合成・単離とその性質解明が行われている。一方で、 α 位に水素を有し互変異性可能な重いケトン類は、速度論的安定化が困難であると考えられ基本的化学結合の性質が未知のまま残されている。同様に、アミド結合のカルボニル炭素を同族高周期元素で置換した重いアミド類に関しても、ウレア構造による安定化や塩基の配位を利用した化合物の合成例は多いが、純粋な重いアミド結合を有する化学種は未踏分子群の一つである。



本研究では、カルボニル結合構成元素として高周期14族元素を含む互変異性化可能な重いケトン類、および対応する重いアミド類の合成を行い、第2周期元素に限られていた化学結合の理解を高周期元素の系へ拡張することを目的とする。また、 α -水素を有する重いケトン類の特性を活かして、重い元素を含むアルドール型反応等を開発し、新しい高周期元素結合形成反応開発と物質創製に応用するとともに、ユビキタス元素の新規活用法の開拓を通して持続可能社会実現のための基礎・基盤技術の確立を目指す。

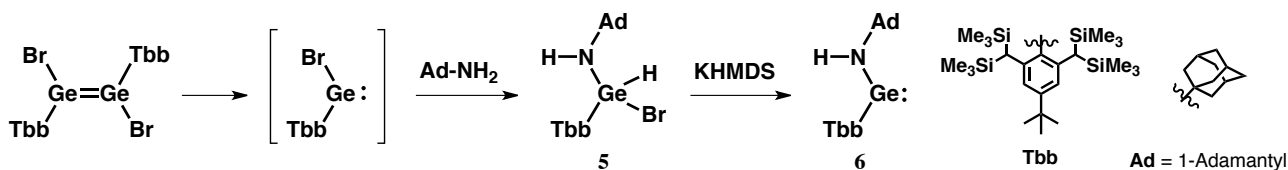
2. メチレン基が隣接したゲルミレンおよび対応する重いケトン類の合成

α -水素を有し互変異性化可能な重いケトン類の合成には、高反応性の重いカルボニル結合を立体的に保護できるかさ高い置換基が必要であるため、本研究では当研究室で開発されたかさ高い置換基である TbtCH₂基とBbt基を用いる。重いケトン類の原料となるゲルミレン**1**はすでに合成済みであり、濃青緑色固体として高収率で得られる。また、単離した固体状態のゲルミレン**1**に対し、1 atmのN₂Oを反応させると徐々に反応が進行し、対応するゲルマノン**2**が淡黄色の固体として定量的に得られることがわかった。ゲルマノン**2**の構造は大型放射光施設SPring-8の装置を用いたX線結晶構造解析により決定することができた。ゲルマノン**2**は、溶液中で徐々に**3**または**4**へと変化するが結晶状態、室温では安定である。



3. 重いアミド類の合成に向けたアミノ基置換ゲルミレンの合成

重いアミド化合物では、窒素原子が化学結合中に存在するため非共有電子対の電子の流れ込みによる熱力学的安定化効果が得られるが、重いカルボニル結合が高反応性であるためかさ高い置換基による速度論的安定化も同時に必要である。本研究では、かさ高い芳香族置換基にTbb基を、また、アミン部位にはかさ高い置換基とNHを有する1-アダマンチルアミノ基を選択した。ジブロモジゲルメン(TbbBrGe=GeTbbBr)¹⁾に対し、2当量の1-アダマンチルアミンを加えると速やかに反応が進行し対応するブロモゲルメン**5**が定量的に得られた。ブロモゲルメン**5**とKHMDsとの反応によりアミノゲルミレン**6**が高収率で得られ、その構造はX線結晶構造解析により決定した。現在、酸化反応による重いアミドへの誘導を検討している。



4. まとめ

立体保護基としてTbtCH₂基およびBbt基をゲルマニウム上に導入することで、未踏分子である α -水素を有する重いケトン類を室温で安定な固体として得ることができた。今後は互変異性化反応の検討や重いアルドール反応を経由した物質創製へと展開する。また、かさ高いアミノ基とTbb基を用いることで、アミノ置換ゲルミレンを高収率で合成・単離することができた。今後、重いアミド類へと誘導し、その性質や反応性を第2周期元素化合物との比較を行う予定である。

5. 参考文献

- 1) Sasamori, T.; Sugiyama, Y.; Takeda, N.; Tokitoh, N. Structure and Properties of an Overcrowded 1,2-Dibromodigermene, *Organometallics* **2005**, 24, 3309-3314; Sasamori, T.; Sugahara, T.; Agou, T.; Guo, J.-D.; Nagase, S.; Streubel, R.; Tokitoh, N., Synthesis and Characterization of a 1,2-Digermabenzene, *Organometallics* **2015**, 34, 2106-2109.

ラマン分光法による環境調和型有機フッ素コーティング剤の 簡易分析法の構築

Development of Raman spectroscopic technique for analyzing organofluorine materials

下赤 卓史¹, 園山 正史², 長谷川 健¹

Takafumi SHIMOAKA ¹, Masashi SONOYAMA ² and Takeshi HASEGAWA ¹

¹京都大学 化学研究科

ICR, Kyoto University

²群馬大学 大学院理工学府

Faculty of Science and Technology, Gunma University

The molecular aggregation in the surface of a microcrystal of perfluoroalkane was investigated by Raman microscope spectroscopy. When a microcrystal has a smooth surface, some of Raman-active bands assigned to non-totally symmetric vibration modes totally disappeared. By considering the optical configuration used in this study and the selection rule of the vibration mode of the disappeared bands, the molecules about the crystal surface are found to be oriented in a standing manner, which is consistent with the SDA theory.

Key Words: Organic fluorine compounds, SDA theory, Molecular orientation, Raman spectroscopy

はじめに

テフロンに代表される有機フッ素 (R_f) 材料は、撥水・撥油性を示す材料として医学応用などに不可欠だが、環境へ蓄積したり生体に入ると代謝されにくいなどの問題が指摘されている。この問題を解決するため、より短い R_f 鎖を用いた材料の開発や、究極的に使用量を減らすことができる単分子膜レベルでの効率的な利用が課題となっている。我々のグループはこれまで、撥水・撥油性をはじめとする R_f 材料の各種物性の発現機構を分子論的に解明する研究を行ってきた。その結果、(1) C-F 結合に沿って現れる大きな双極子および (2) R_f 鎖特有のねじれ構造という2つの因子によって形成する二次元集合構造 (図1) が機能発現のカギであることを明らかにした (SDA理論)^{1,2)}。CF₂基の数(n)が7未満の短鎖の R_f 鎖は自己集合能が低いため、自発的なSDAパッキングの形成は困難である^{1,2)}。しかし、 $n = 3$ や5の R_f 鎖であっても界面固定化の技術も併せることでSDAパッキングは達成でき、単分子膜であっても十分な機能性が現れる³⁾。このことは、新規材料開発において1次構造だけでなく分子集合状態や分子配向の分析が不可欠であることを意味している。 R_f 鎖の配向は、X線回折 (XRD) や赤外pMAIRS法によって定量的に解析できることがわかっているが、いずれも精密な光学系を用いた測定が必須で、後者は用いる基板の材質に制限があり、産業応用においては不向きである。

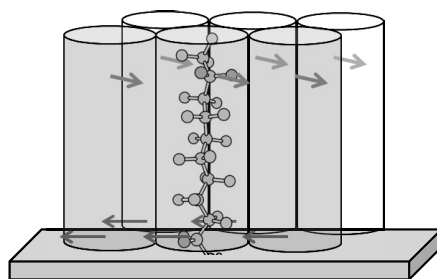


図 1 R_f 鎖の SDA パッキング

我々は、ラマン分光法による簡便な解析手法の構築を目指している。必要最低限の光学部品を用いたシンプルな光学系であらゆる材質の基板の解析に適用できる手法の確立を目指す。2020年度は、目標に向けた最初の段階として、測定が容易なバルク試料として粉末状のパールフルオロアルカンの粒子を対象とし、粒子表面の分子配向について顕微ラマン分光法を用いた解析を行った。

実験手法

粉末状の長鎖パーフルオロテトラコサン ($C_{24}F_{50}$) の粒子表面について、共焦点型の顕微光学系のラマン分光装置を用いて解析を行った。本装置では、微結晶の任意の位置の測定が可能であり、面内方向10 μm -i.d., 深さ分解能30 μm の領域の情報が得られる条件で測定を行った。

結果と考察

$C_{24}F_{50}$ の粒子について顕微画像観察を行ったところ、(A)平滑な結晶表面をもつ粒子と、(B)表面が不明瞭で黒く見える粒子の二種類が存在した。代表的な顕微画像を図2に示す。それぞれの粒子について、表面のラマンスペクトルを測定したところ、粒子(B)はPolytetrafluoroethylene (PTFE) に観測される CF_2 基由来のラマン活性なバンドがすべて現れた。一方、粒子(A)の表面を測定すると、図2に四角で囲った数本のバンドが消失していた。PTFEの点群 D_{1h} を用いた因子群解析の結果を参考にバンドの帰属を行ったところ⁴⁾、非全対称振動のいくつかが消えていることがわかった。今回用いた顕微ラマン分光装置の光学系および消失した非全対称振動モードのラマンテンソルを考慮し、バンド消失の条件を検討した。その結果、図1のように分子が結晶表面に対して立った状態で配向しているとき、これらのバンド消失が起こることがわかった。バルク試料の結晶表面でも、SDA理論の予想どおり R_{a} 鎖が配向したSDAパッキングを形成していることがわかった。

この知見を踏まえ、今後薄膜試料のラマン分光解析へと展開する。薄膜試料の場合は赤外pMAIRS法や微小角入射X線回折 (Grazing Incidence X-ray Diffraction; GIXD) 法によって、あらかじめ分子配向角を定量的に求めることができるため、これらの手法で得た配向角とラマンバンドの強度の相関を調べることで、簡便な配向角解析手法として確立することができる。

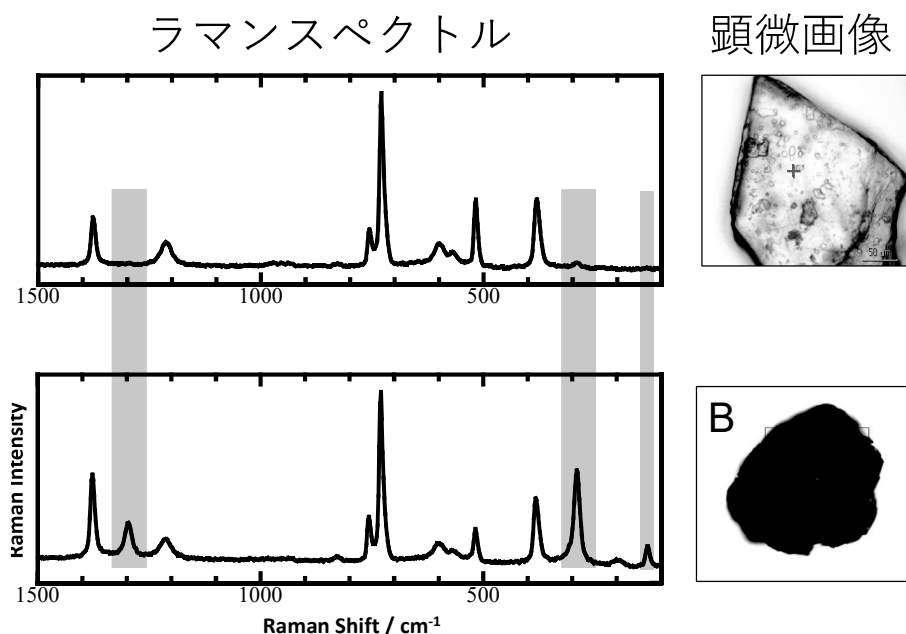


図 2 粒子 A および B の顕微画像とそれぞれの粒子表面のラマンスペクトル

参考文献

- 1) Hasegawa, T., Shimoaka, T., Shioya, N., Morita, K., Sonoyama, M., Takagi, T., Kanamori, T.: Stratified Dipole-Arrays Model Accounting for Bulk Properties Specific to Perfluoroalkyl Compounds, ChemPlusChem, Vol. 79 (10), pp. 1421-1425, 2014
- 2) Hasegawa, T.: Physicochemical Nature of Perfluoroalkyl Compounds Induced by Fluorine, Chem. Rec., Vol. 17, pp. 903-917, 2017
- 3) Kise, R., Fukumi, A., Shioya, N., Shimoaka, T., Sonoyama, M., Amii, H., Takagi, T., Kanamori, T., Eda, K., Hasegawa, T.: Fluorous Property of a Short Perfluoroalkyl-Containing Compound Realized by Self-Assembled Monolayer Technique on a Silicon Substrate, Bull. Chem. Soc. J. Vol. 92, pp. 785-789, 2019
- 4) Rabolt, J. F., Fanconi, B.: Raman Scattering from Finite Polytetrafluoroethylene Chains and a Highly Oriented TFE-HFP Copolymer Monofilament, Macromolecules, Vol. 11, 740-745, 1978

自己集合性ワクチンアジュバント Self-Assembling Vaccine Adjuvants

上杉 志成¹, パックウッド ダニエル², 山崎 晶³, 石井 健⁴

Motonari UESUGI 1, Daniel PACKWOOD 2, Sho YAMASAKI 3, Ken ISHII 4

- 1 京都大学 化学研究所
Institute for Chemical Research, Kyoto University
- 2 京都大学 高等研究院
Kyoto University Institute for Advanced Study, Kyoto University
- 3 大阪大学・微生物病研究所
Research Institute for Microbial Diseases, Osaka University
- 4 東京大学・医科学研究所
The Institute of Medical Science, Professor, The University of Tokyo

Immune potentiators, termed adjuvants, trigger early innate immune responses to ensure the generation of robust and long-lasting adaptive immune responses of vaccines. This project leverages a concept of material sciences called “self-assembly” for the development of a novel vaccine adjuvant. We discovered a simple small molecule named cholicamide whose nanoassembly potentially elicited innate immune responses in cells and served as a vaccine adjuvant in animals.

Key Words : Chemical biology, self-assembly, vaccine adjuvants, immune receptors

序論

ワクチンは感染症を予防するための最も良い医学的介入の一つである。疾患を引き起こす病原体に由来する弱毒化ワクチンは、主に自然免疫と適応免疫の両方の反応を継続的に刺激するため、効果的なワクチンとして作用する。弱毒化ワクチンは非常に効果的な感染症予防の手段であるが、ワクチン自体に病原性が残っているために感染症を引き起こす危険性があり、安全面において改善の余地がある。この問題点を解決するために病原体の抗原となる部分だけをとりだしたサブユニットワクチンが開発され、臨床的に広く用いられてきた。しかしながら、サブユニットワクチンは十分な免疫原性を有しておらず、十分な免疫応答を誘導するためにはアジュバントと呼ばれる抗原性補強剤との併用が必要である。これまでにアラムや水中油型エマルジョンなどが開発されているが、数が限られている。新興ウイルスに対応して効果的なワクチンを準備するためには、アジュバントのレパートリーを増やすことが急務である。一般に、免疫応答とアジュバント活性には、分子の大きさが関与している。本研究では、自発的に集合して巨大化する「自己集合」という材料化学の概念を利用して、ウイルスを模倣するアジュバント材料を発見した。

コリカマイドの発見

研究室が有する化合物ライブラリー7万個から自己集合性を有する化合物を集めた化合物ライブラリーを構築した。免疫刺激作用を有する自己集合性小分子を発見するために、自己集合性化合物を、マウスのマクロファージ細胞であるRaw 264.7に添加してIL-6の産生量をELISA Assayにより定量し、IL-6産生を誘導する化合物の探索を行った。その結果、IL-6産生誘導能を有するリード化合物を発見した。その化合物は細胞培養液中でウイルス状の自己集合体を形成した。その粒子径は約200 nmであることが動的光散乱法による粒子径測定およびクライオ電子顕微鏡を用いた観察により明らかになった。

リード化合物の有機合成展開により構造最適化を行った。その結果、リード化合物よりも高い活性をもつ自己集合性化合物を発見し、コリカマイドと名付けた¹⁾。コリカマイドが水中において約150 nmの自己集合体を形成することを、示差走査型電子顕微鏡およびクライオ電子顕微鏡により確認した。

コリカマイドの作用の理解

コリカマイドはウイルスになりすまして免疫細胞を活性化する。コリカマイドは水中で自己集合してウイルスに似た大きさと形状になり、樹状細胞（抗原提示免疫細胞）にエンドサイトーシスで取り込まれ、エンドソームにあるToll-like receptor 7 (TLR7) というウイルス受容体に認識される。このエンドソームTLRはインフルエンザやコロナウイルスなどのRNAウイルスの中身にあるRNAを認識する。コリカマイド集合体にはRNAは含まれていない。コリカマイド集合体がTLR7にどのように認識されているのだろうか。さまざまな実験により、コリカマイドはTLR7に直接相互作用していることが示唆された。胆汁酸やその代謝物が抗原提示免疫細胞のTLR7に直接結合し、RNAウイルスへの感度を変調させている可能性がある。

コリカマイドのアジュバント活性

コリカマイドのアジュバント活性の評価をマウスで行った。コリカマイドと共にインフルエンザスプリットワクチンをマウスに初日と14日後の二回投与し、初回投与から21日後に血清を採取し、抗ヘマグルチニン特異抗体価の定量を行った。その結果、コリカマイドはコントロール群と比較して、高いIgG産生を誘導することが明らかになった。臨床使用されているアラムに匹敵する、IgG産生誘導能を有していることが示された。

インフルエンザに対する感染予防効果を検証するため、ワクチン接種後のマウスをインフルエンザウイルスに感染させ、その後の生存率を3週間に渡って調べることとした。その結果、コリカマイドと共にワクチン投与されたマウスは、臨床使用されているアジュバントであるアラムと共にワクチン投与されたマウスよりも高い生存率を示すことが明らかになった。コリカマイドがワクチンアジュバントとして機能することが示された。

未踏科学としての意義とSDGsへの貢献

コリカマイドは、上杉グループの独自化合物である。自己集合性化合物ライブラリーを世界で初めて生物研究目的に構築し、そこから世界に先駆けて自己集合性ワクチンアジュバントを発見した。工業化可能な単純な構造をもつ。自己集合性によって、工業化できる単純構造と高い効果の両方が達成できる可能性がある。本研究が社会実装されれば、SDGsの視点を含めたグローバルな波及効果が期待できる。

- 自己集合小分子化合物によって、全く新しいアジュバントを生み出した。自己集合化合物は材料化学で活発に研究されており、日本が強い分野。本研究が社会実装されれば、同様の方法でアジュバント材料が次々と発見されるかもしれない。
- ポストコロナの時代でも、新たな新興ウイルスが次々と出現するだろう。今回のコロナ禍のように、その都度ワクチンが開発され、アジュバントが組み込まれる。本研究成果が先導して、様々なアジュバントが開発されれば、新興ウイルスに最適かつ安価なアジュバントを選択できるようになる。発展途上国を含めたグローバル社会に貢献すると期待できる。
- 今回のコロナワクチンには主にスクアレンがアジュバントとして利用されている。スクアレンは主にサメの肝油から精製されており、サメが枯渇することが危惧されている。完全合成品でスクアレンを代替できると大きな経済効果を生み、生物環境保全につながる。

参考文献

1) Jin, S., Vu, H., Hioki, K., Noda, N., Yoshida, H., Shimane, T., Ishizuka, S., Takashima, I., Mizuhata, Y., Pe, K., Ogawa, T., Nishimura, N., Packwood, D., Tokitoh, N., Kurata, H., Yamasaki, S., Ishii, K., Uesugi, M.: Discovery of Self-Assembling Small Molecules as Vaccine Adjuvants, *Angew. Chem. Int. Ed.* 60(2), 961-969 (2021).

ネガティブカーボン経済

Negative Carbon Economy

小西 哲之¹, 梅澤 俊明², 森 晶寿³, マハムド バクルアラビ¹, 向井啓介¹,
八木重郎¹

Satoshi KONISHI¹, Toshiaki UMEZAWA², Akihisa MORI³, Mahmoud BakrArabi,¹
Keisuke Mukai¹, and Juro YAGI¹

¹京都大学 エネルギー理工学研究所

Graduate School of XXXXXXXXXXXX, Kyoto University

²京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

³京都大学 地球環境学

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

The energy-material cycle to turn over the total carbon balance to negative is investigated as an interdisciplinary study in the Unit. As the scientific and technical approach, deployment of gramineous plants that yields carbon rich biomass for revegetation of deteriorated grass. Advanced energy technology such as nuclear, renewable and fusion is used for the conversion of lingo-cellulose to biochar, carbon-free fuels and various organic materials. Biochar is regarded as isolated carbon from the atmosphere and can be stored for extremely long period stably at high density. Produced “Negative carbon” can be traded as credit and generate a flow of value chain from industrial area where human activities emit carbon dioxide to developing countries to promote sustainable economic development.

Key Words : biomass, energy, fusion, carbon isolation, emission credit, gasification, endothermic reaction

1. 研究の背景と目的

この研究は2019年度までのグローバル生存基盤展開ユニットにおいて見出された人類の長期的持続的な生存可能性の問題、すなわち産業革命にはじまる高度成長社会こそが人類の関与する地球の炭素サイクルフローが定常解の限界を超え、カーボンバジェットの枯渇が現代文明の寿命を制約すること、に具体的な解決を提示し、その社会実装をはかることを意図している。歴史的なカーボンバジェットの枯渇と比較的近未来スコープのSDGs、パリ協定に基づく低炭素化圧力は、大気中二酸化炭素の排出削減のみでなく、正味での回収によるマイナスへの転換に人類の経済活動が向かうことを要求している。それに対し、人類の生存のためのエネルギー物質循環システムの持続性を回復するための方策として、核融合等の先進エネルギーとバイオマス生産の組み合わせにより、大気中の二酸化炭素を固形炭素として長期固定することを提案した。これは途上国の環境回復と産業育成とともに、人類の持続可能な発展を可能とし、地球の炭素収支を逆転する壮大なモデルである。本ユニットの研究として、この環境政策、コミュニティ、生物・農学、エネルギー科学を複合した「緑地再生→二酸化炭素吸収→先進エネルギー導入→二酸化炭素隔離」システムについて、学際的な検討を通じて現代から数百年の時間スケール、地域コミュニティから地球規模、人類全体にわたる様々なマルチスケール性を持ち、具体的に実施可能な経済活動を提示することを目指す。

2. 研究計画と方法

従来の、化石燃料の生産消費、すなわち不可避免的にカーบอนを排出することで成立していた産業革命以降の人類の経済活動を、逆にネガティブエミッション、すなわち二酸化炭素を回収固定することを軸にした経済活動へと転換させるためのキーとなる技術として、ネガティブカーボン仮想通貨の概念を導入する。最初の価値創出はあらゆる光合成作物の育成、すなわち農林業であるが、特にこれまでの経済活動で大量に発生した荒廃草原、砂漠化地域などの農地・林地への転換を、新たに作出された高生産性作物によって行う。特に途上国の農地・バイオマス生産地への転換は、地域経済・地域住民の活性化をもたらし、国内所得格差・地域所得格差の是正、世界の天然林伐採跡地の環境回復や国家間の公正・衡平な資源分配と相互利益確保に

資する。高生産性のイネ科草本、特にリグニン含有量の多い作物の導入は、大きな二酸化炭素シンクとなる。しかし大量のバイオマス生産に対応する需要を同時に創出する必要がある。エネルギー工学的には、現在の化石資源エネルギーがゼロエミッション化する一方で、新たな安定的サプライチェーンを構築する必要がある。エネルギーシステムは急速な再生可能エネルギーの導入は電力グリッドの脆弱化と不安定性をもたらし、また電力エネルギーとしての燃料と熱供給との整合性を損なっている。再エネ余剰電力や先進原子力、将来的に核融合が構成するのは低マージナルコストシステムであり、電力の安定なサプライチェーンと、時間的に大きな変化の吸収できるプロセスで構成される。バイオマスの炭化・ガス化は極めて大きな吸熱量を持ち、回収された二酸化炭素を木炭の形で永続的に気体の 1000 倍の密度で循環系から隔離することになる。副生物には、ガス成分から水素やフィッシャー・トロプッシュ合成による石油代替燃料製品を製造することができる。すなわち、バイオマス生産から、大量のエネルギーを用いてエネルギー商品と正味のネガティブカーボン価値が創出されることになる。バイオマスはそれ以前に高付加価値のバイオリファイナリー原料に用いることができ、またこのカーボン資源は基本的に都市や農業などの廃棄物からも大量に回収できる。得られる気体、液体の燃料は、移動用あるいは分散電源で利用できるため、グリッドの未成熟あるいは大規模グリッドの適さないコミュニティに安定電力を供給することになる。いずれも、化石資源代替により二酸化炭素排出削減も行う。このネガティブカーボンの創出には、エネルギー、物質ともに、限界費用がゼロないしマイナスの供給源が主に用いられているため、資源を消費せずに価値が発生していることになる。この価値は、先進国や工業、交通、商業などの形での二酸化炭素排出を伴う経済活動からのクレジット消費とバランスさせることで、ネガティブカーボン経済を構成することになる。媒介物としてはこの炭素固定単位に対する仮想通貨が適当と考えられるが、その価値制御の方法と社会的な枠組みの構築が今後の重要な課題となる。

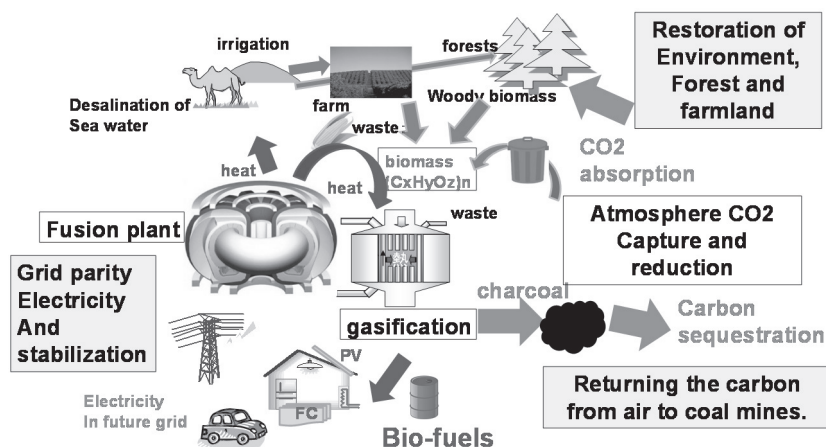


図1 ネガティブカーボン物質エネルギーシステム概念

3. 成果と今後の展開

現在までに、高生産性バイオマス作物の創出、核融合や余剰電力によるバイオマスガス化、という基本的な技術のイノベーションはすでにPoPの段階を終了している。また、学際的に環境経済的な方法論も創出されている一方、インドネシアを中心とした途上国のコミュニティの実情やフィールドの調査、また実際の農業活動がすでに試みられ、それらの成果はこれまでのユニット活動において報告されている。

今後は、社会実装に向けたビジネスモデルの構築と、そのメカニズムの分析を実施する計画である。

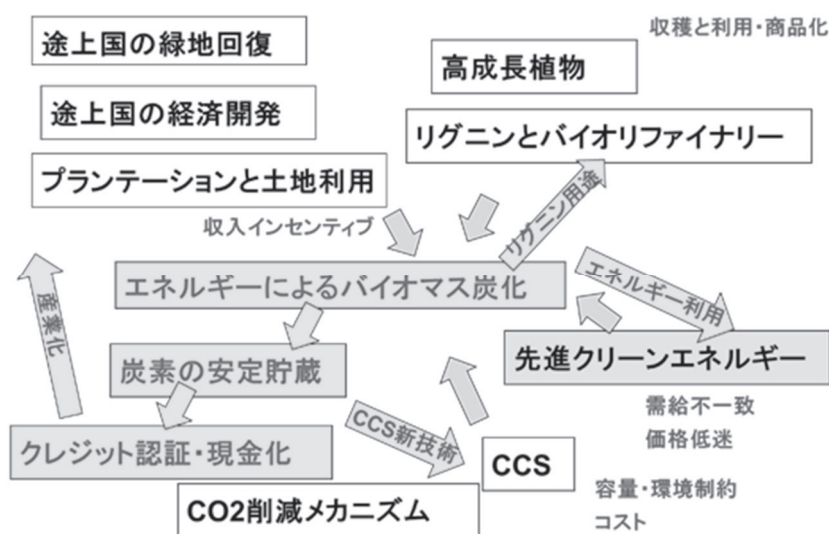


図2 ネガティブカーボン経済システムの構成

農村に適した再エネ電力貯蔵法の開発

Development of Renewable Energy Power Storage Method Suitable for Rural Areas

野平 俊之¹, 柴田 大輔¹, 小瀧 努¹, 山本 貴之¹, 岡部 寿男²

Toshiyuki NOHIRA¹, Daisuke SHIBATA¹, Tsutomu KODAKI¹,
Takayuki YAMAMOTO¹, and Toshio OKABE²

¹京都大学 エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

²京都大学 学術情報メディアセンター

Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

Since power generation from renewable energy sources fluctuates with time and season, it is essential to install a power storage system to introduce more than a certain amount of renewable energy. On the other hand, in rural areas, there is a possibility of realizing sustainable agriculture in economic, energy, and environmental terms by actively utilizing such renewable energy power. Thus, this study aims to realize a local production for local consumption type energy system using renewable energy in rural areas. As the first step, we have surveyed various batteries and evaluated them whether they are suitable for such an energy system.

Key Words : Renewable Energy, Energy Management System, Batteries, Rural Area, Agriculture

1. はじめに

再生可能エネルギーによる発電は、時間および季節による変動があるため、ある一定量以上導入するためには、蓄電システムの併設が必須となる。一方、農村においては、そのような再エネ電力を積極的に活用することで、経済的・エネルギー的・環境的な意味で持続可能な農業を実現できる可能性がある。そこで、本研究では、農村における再生可能エネルギーによる地産地消型エネルギーシステムを実現するため、いくつかのモデルケースについて、季節的および時間的に変化する発電量および電力使用量を検討し、それに合わせた蓄電池および蓄電システムを開発することを目的とする。令和2年度は、その第一段階として、「農村に適した蓄電池の検討」を行った。

2. 持続可能社会の創造との関連性について

これまで、再エネ電力貯蔵用として蓄電池を活用する研究は多く行われてきたが、農村に特化して農業用途への電力利用を想定した検討はほとんど行われていない。しかし、農地はそもそも太陽光発電に適しており、利用可能な土地面積は膨大である。従来は、農地法による制限から農地での太陽光発電は認められていなかったが、近年の規制緩和および再生可能エネルギー導入の重要性の高まりにより、現実的に可能になってきた。従来の使用法を想定した蓄電池ではなく、農地特有の「夏の高温」「余裕のある設置スペース」などの特徴に対応した「農村に適した蓄電池システム」を開発する必要がある。このようなアプローチは学術的にも新しいだけでなく、持続可能な農業およびエネルギー生産を可能にし、持続可能社会の創造に大きく貢献する。

3. 結果と考察

本研究は、ユニットの存続期間である5年間を想定している。初年度である令和2年度は、研究の第一段階として、「農村に適した蓄電池の検討」を行った。具体的には、まず、既存のリチウムイオン電池や鉛蓄電池等について、性能(エネルギー密度、公称電圧、サイクル寿命など)、価格等を検討した。また、ナトリウム硫黄(NAS)電池やZEBRA電池などのナトリウム電池、さらには、筆者らが開発したイオン液体ナトリウム電池についても、同様の情報を収集した。これらをまとめたものを表1に示す。エネルギー密度などの性能は、リチウムイオン電池が優れているが、価格が課題であることが分かる。ナトリウム電池の中では、NAS電池は価格は比較的低いが、運転時に300℃以上に加温する必要性がある。

表1 各種蓄電池の種類と特徴

電池の種類	他の電池				ナトリウム電池		
	鉛	ニッケル水素	リチウムイオン	レドックスフロー	NAS	ZEBRA*	イオン液体Na
軽量化 エネルギー密度(Wh/kg) 公称電圧(V)**	×	△	◎	×	○	○	○
	35 2.1	60 1.2	200 3.6	10 <1.4	130 2.1	95 2.6	100~167 3.0
コスト(万円/kwh)(導入コスト)	5	10	20	評価中	4	不明	評価中
大容量化	○	○	○	◎	◎	◎	○
充電状態の正確な計測・監視	△	△	△	◎	△	△	△
安全性	○	○	△	◎	△	△	◎
資源	○	△	○	△	◎	◎	◎
運転時における加温の必要性	なし	なし	なし	なし	あり(300℃以上)	あり(300℃以上)	なし(性能最適化時あり)
寿命(年) (サイクル数)	17 3000	5-7 2000	6-10 3500	6-10 制限なし	15 4500	11 3600	評価中 (1000以上確認)

経済産業省 蓄電池戦略(平成24年7月)より¹⁾。溶融塩(イオン液体Na)電池のデータを修正。

*ZEBRA 電池の性能データを追加²⁾。**電気化学便覧第6版より³⁾。

次に、蓄電池の設置を検討する場所として、施設園芸(ハウス)と屋外農地(水田・畑)を想定し、再生可能エネルギー源としては太陽光発電を想定した場合に、蓄電池に求められる性能を検討した。その結果を図1に示す。施設園芸の場合、電池設置スペースにはある程度の制約があると考えられるため、エネルギー密度やエネルギー効率が高い方が好ましく(高性能型、自家消費志向)、現状ではリチウムイオン電池が第一候補となる。ただし、作動温度が45℃以下であること、コストが高いこと、安全性に不安があることが課題である。一方、屋外農地の場合、設置スペースは十分にあると考えられ、また、太陽光発電の発電量も大きくなると予想するため、大規模・低コスト型が向いている。現状では、コスト面から鉛蓄電池が第一候補であるが、サイクル寿命およびエネルギー効率に課題がある。大規模に行う場合はNAS電池も候補となるが、将来的にはより取り扱いの容易なナトリウム電池が望ましい。筆者らが開発してきたイオン液体を用いたナトリウム二次電池は、安全性が高く、室温～90℃まで作動可能であるため、施設園芸用としても屋外農地用としても期待できる。

(a) 施設園芸(ハウス)の場合

太陽電池面積:小～中
発電量:小～中
その場の電力消費:小～中(?)
電池設置スペース:制約あり

↓ 高性能型
(自家消費志向)

- ・高エネルギー密度
- ・高出入力
- ・高エネルギー効率
- ・高耐久性

候補:リチウムイオン電池

課題

- ・コスト低減
- ・安全性向上
- ・温度特性改善(<45℃)
- ・リチウム資源(将来)

(b) 屋外農地(水田・畑)の場合

太陽電池面積:中～大
発電量:中～大
その場の電力消費:ゼロ～小
電池設置スペース:十分にある

↓ 大規模・低コスト型
(ピークシフト志向)

- ・大容量
- ・低コスト
- ・高耐久性

候補1:鉛蓄電池

課題

- ・サイクル劣化抑制

候補2:NAS電池

課題

- ・安全性向上
- ・保温エネルギー低減

候補3:レドックスフロー電池(開発段階)

課題

- ・耐久性向上

図1 農地での太陽光発電の特徴と蓄電池に求められる特性。(a) 施設園芸の場合、(b) 屋外農地の場合。

参考文献

- 1) 経済産業省 蓄電池戦略(平成24年7月), https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy04/pdf/20120705/sanko_shiryo1.pdf
- 2) C-H. Dustmann, *J. Power Sources*, **127**, 85 (2004).
- 3) 電気化学会編, 電気化学便覧第6版, 丸善, (2013).

熱帯荒廃草原の植生回復と資源生産に基づく炭素隔離

Energy production, material production and carbon sequestration through revegetation of deteriorated grasslands

梅澤 俊明¹, 宮本 拓志¹, 山村 正臣¹, 高田 理江¹, 坂本 正弘²,
サトヤ ヌグロホ³, サフェンドリ コマーラ ラガムスタリ³, 飛松 裕基¹,
梅村 研二¹, 小西 哲之⁴

Toshiaki UMEZAWA¹, Takuji MIYAMOTO¹, Masaomi YAYAMURA¹, Rie
TAKADA¹, Masahiro SAKAMOTO², Satya NUGROHO³, Safendri Komara
RAGAMUSTARI³, Yuki TOBIMATSU¹, Kenji UMEMURA¹, and Satoshi KONISHI⁴

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

²京都大学 大学院農学研究科

Graduate School of Agriculture, Kyoto University

³インドネシア科学院

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

⁴京都大学 エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

1. 研究の背景と目的

(1) 背景

インドネシアでは大規模な森林開発が1970年代前半に始まった結果、広大な熱帯林伐採跡地にイネ科の雑草である (*Imperata cylindrica*, 和名:チガヤ、インドネシア語:アランアラン) などからなる荒廃草原 (1000 万ha) が発生している。ここで、この荒廃草原の農地・林地への転換は長年にわたる未解決の課題であり、非常な困難が見込まれている。そこで、この課題解決に向け、人材育成を含めた国際的な共同研究が渴望されている。また、荒廃草原の農地・バイオマス生産地への転換は、地域経済・地域住民の繁栄をもたらし、国内所得格差・地域所得格差の是正、バイオマスエネルギーの生産に貢献できる。さらに、アランアランの草原は世界各国に広がっている。以上に鑑み、研究代表者梅澤と研究分担者梅村らは、インドネシア科学院と熱帯荒廃草原の植生回復とバイオマスエネルギー・木質材料生産に関する国際共同研究を実施してきた。本研究は世界の天然林伐採跡地の環境回復や資源産出国および資源輸入国間の公正・衡平な資源分配と相互利益確保に対する展開性を有している。一方、小西らはバイオマスと核融合や太陽光発電などを組み合わせた炭素隔離プロジェクトを別途進めており、バイオマス生産と炭素隔離を連携させることにより、一層の協働研究展開を図ることが可能となってきた。

(2) 目的

荒廃草原を活用したバイオマスエネルギー生産と炭素隔離に適するイネ科バイオマス植物を開発する。

2. 研究計画・方法

(1) イネの代謝工学

大型イネ科バイオマス植物は樹木の数倍のバイオマス生産性 (年間50~100トン/ha) を示と共に、樹木より化学成分利用特性が優れていることから、バイオマス生産植物として今後一層需要が増加すると考えられる。一方リグニンは高い発熱量を持つと共に芳香族化学製品の原材料として重要であるが、イネ科植物ではその含量が樹木より少ない。また、核融合や太陽光発電などを組み合わせた炭素隔離の原料として、高リグニン含量すなわち高炭素含量のバイオマスが有効である。そこで本研究ではイネ (*Oryza sativa* ssp. *japonica* cv. Nipponbare) におけるリグニンの量と構造の改変を行う。そして得られた結果に基づき、アランアラン草原における植栽に適したイネ科バイオマス植物を作出・選抜する。

本研究では、内在性リグニン合成活性化型転写因子の過剰発現によるリグニン高含有イネの作出、リグニン合成抑制型転写因子のノックアウトによるリグニン高含有イネの作出や、得られた系統の交配による効果の増強を進めるとともに、得られた系統のリグニンの詳細な性状解析を進めた。

本年度は昨年度に引き続きリグニン合成抑制型転写因子のノックアウトによるリグニン高含有イネの作出を進める。

(2) バイオマス炭化と炭素隔離

加えて、上記で開発した高発熱型バイオマスを用いた核融合課題との連携を、バイオマス炭化と炭素隔離について進める。草本バイオマスの処理利用サイクルを含めることで、作出した作物の地域でのエネルギー物質サイクルを完結する見通しを得る。また、バイオマス植物を栽培する地域住民の利益のため、バイオマスの一部は化石資源代替燃料とすると共に木質材料生産に使用する。このための技術開発を進める。

3. 研究成果

(1) イネの代謝工学

イネにおいてリグニン合成抑制型転写因子をコードすると推定される候補遺伝子を選抜し、それらのノックアウトイネの作出を行った。その結果、数種のリグニン合成抑制型転写因子の機能をゲノム編集技術により破壊した系統においてリグニン量の増加（41%）が認められた¹⁾。またイネの代謝工学に関する本ユニットにおける研究成果等を取りまとめた総説を執筆した^{2,3)}。

(2) バイオマス炭化と炭素隔離

高炭素含量バイオマス作物の作出、作出した作物を用いた熱帯地域におけるエネルギー物質サイクルを完結するための見通し並びに当該地域の土地利用と所有に関する討議・解析を総合的に進め、外部資金獲得に向けた活動を進めた。この討議の成果は書籍（編集：地球環境学堂 森晶寿）に取りまとめた（編集中）。

参考文献

- 1) Miyamoto, T., Takada, R., Tobimatsu, Y., Suzuki, S., Yamamura, M., Osakabe, K., Osakabe, Y., Sakamoto, M., Umezawa, T., Double knockout of *OsWRKY36* and *OsWRKY102* boosts lignification with altering culm morphology of rice, *Plant Sci.*, 296, 110446 (2020)
- 2) Umezawa, T., Tobimatsu, Y., Yamamura, M., Miyamoto, T., Takeda, Y., Koshiba, T., Takada, R., Lam, P.Y., Suzuki, S., Sakamoto, M., Lignin Metabolic Engineering in Grasses for Primary Lignin Valorization, *Lignin*, 1, 30-41 (2020)
- 3) Miyamoto, T., Tobimatsu, Y., Umezawa, T., MYB-mediated regulation of lignin biosynthesis in grasses, *Current Plant Biology*, 24, 100174 (2020)

福島県における環境放射能解析および環境回復のための連携研究
Environmental Radioactivity Analysis and Collaborative Research in
Fukushima

上田 義勝¹, 徳田 陽明², 二瓶 直登³, 谷垣 実⁴

Yoshikatsu UEDA¹, Yomei TOKUDA², Naoto NIHEI³ and Minoru
TANIGAKI⁴

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

²滋賀大学 教育学部

Faculty of Education, Shiga University

³福島大学 食農学類

Faculty of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University

⁴京都大学 複合原子力科学研究所

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University

Radioactive Cesium fell to the cultivation area around Fukushima prefecture by the accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in 2011. We conducted various methods to clean up soil for agriculture. One of the major methods is to strip topsoil up to 5cm. This decontamination method has been carried out inside a highly polluted cultivation field by radioactive cesium and not on the levee around the field still now. We investigate the contamination variation around the cultivation area by using the walking radiation measurement system KURAMA (Kyoto University RAdiation MApping system) and by direct measuring radioactive cesium concentration. We also checked the radioactive cesium in irrigation water for checking the weather dependency.

Key Words : Great East Japan Earthquake, Radioactive Cesium, KURAMA

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災、またそれに伴う東京電力福島第一原発事故から10年が経過しつつある。環境中に放出された放射性核種のうち、10年経った現在もいまだ問題になっている核種に¹³⁷Csがあり、半減期が約30年と長期間存在してしまうため、現在も環境中の放射能として残存している。本研究では、これまでに土壌中の¹³⁷Csの挙動と、土壌から植物に吸収さ

れる移行作用の原理について研究を進めてきた。特に植物への移行係数については、粘土鉱物に付着するセシウムの形態が異なる事が知られており、その解析について固体 NMR や XAFS などを用いた解析を行った。化学形態の環境分析の他にも、福島県内における農地回復に向けた取り組みとして、環境放射能を地図上に可視化する事で、 ^{137}Cs の時間的な移行を確認しつつ、必要に応じて土壌の状態を確認しながら除染などの対策を検討している。

本報告では、この環境放射能の可視化についての手法と、その解析結果を報告する。可視化には京都大学複合原子力科学研究所が開発した自動放射線量計測システム KURAMA (Kyoto University RAdiation MApping system) を用いており、福島県飯舘村を中心に測定を行いつつ、同時に必要に応じて土壌サンプルを採取して分析を行ってきた。

2. 実験手法

環境放射能計測については、福島県飯舘村にある農作物試験地とその周辺の河川、道路について実施してきている。また、NPO 法人ふくしま再生の会と協力して、飯舘村牧場周辺の除染後の環境放射能の時間的な変化についても定期的に計測を行っている。計測は徒歩で行い、農作地、周辺畦畔と灌漑水路を歩行する事で、除染後の農作地に新たに流入する放射性セシウムや、水路のセシウム移動状況について調査している。これらの計測は人的な作業であるため、計測者の身長や姿勢などによるデータの補正について、これまで精査していなかった。そのため、今年度においては、歩行サーベイにおける計測データの変化について、どの程度変化があるのかについて、校正調査を行った。計測で用いている KURAMA は、地上歩行サーベイ型であり、Na-I シンチレーションサーベイメータ (浜松ホトニクス C12137-01 製) が 2 台搭載され、うち 1 台を厚さ 1cm の鉛板コリメータで覆うことで、指向性を持たせて同時計測・校正する。2 台の測定結果を用いる事で空間線量と地表線量を評価する事が可能である。また、KURAMA には DGPS(Differential GPS)が搭載されており、精度誤差 1m 以下で計測が可能である。さらに、測定結果と常にネットワーク回線を通してクラウドデータとして保存する事で、測定結果を常時どこからでも確認する事が出来る。

今回の計測では、除染などの処置が終わった環境において、基準となる基準線源 (放射性セシウムを含む除染前の土壌、図 1.) を設置して、基準線源を中心として、姿勢を変えながら歩行サーベイを行う事で、どの程度測定に差が出るのかについて初期計測を行った。基準線源はサーベイメータにておよそ $7.08 \mu\text{S}/\text{cm}$ であった。また姿勢については、図 1,にあるように直立、屈み状態 2 種、坂道などで膝を曲げて歩く状態を想定し、その際の計測結果をプロットして比較している。また、計測した地点としては、(A)周辺にノイズとなる環境放射能がほぼ無い平坦なエリア、(B)斜面に基準線源をおいて歩行にて計測したエリア、(C)すぐ近くにノイズとなる環境放射能が存在するエリア (未除染森林の横) について、歩行サーベイを行っている。

密閉容器内の除染前土壌



3種類の歩行にて計測

直立



屈み 1



屈み 2



膝曲げ



図 1. 歩行サーベイで用いた線源としての密閉容器土壌と、歩行時の姿勢の種類

3. KURAMA による計測結果と傾向

歩行サーベイでの計測結果を図 2.に示す。計測エリア A, B, C についてのカラーコンターによる計測結果を見ると、特に A においては基準線源を中心とした線量率の変化を傾向としてよくとらえている事がわかる。その一方で、B の斜面では歩行する向き（上りと下り）により若干ばらつきが見える他、特にノイズとして付近に別の線源がある場合には、カラーコンターだけではしっかりと傾向をつかむには校正をよりよくしなくてはいけない事がわかった。

また、歩行計測の時間変化について、各エリアごとに図 3,4,5 に示す。図 3.では、平坦なエリアにて歩行計測を行い、その際の姿勢による違いで計測結果がどの程度変化するかについて確認した。姿勢が変化する事で、サーベイメータと地表面との距離が変化してしまうため、特にコリメータ付きサーベイメータについて、変化が大きくなっている。また、直立状態であっても変化がみられるが、こちらについては上側のコリメータ無しの測定値も変動しているため、基準線源の線量が時間的に変化しているために見られる現象であった。また、屈み状態や膝曲げ状態では、地表面と下側検出器のセンサー暴露部との間に傾きが発生するため、移動時の往復動作で、基準線源に近づく場合と、遠ざかる場合とで測定結果に違いが生じる事も確認しているが、まだ今後の精査が必要である。

図 4.における斜面での計測結果については、コリメータ付きセンサと上側センサとの間で、測定値の逆転現象が発生している。これは、斜面の傾きと、姿勢の傾きが、斜面上りと下りとで反転してしまうためにおこる現象であり、この点は計測時に非常に注意してデータを確認する必要がある事を示している。一般的には下り方向のデータの方が計測値としてはより正確なデー

タを示しているが、しっかりした校正を行う場合は、姿勢状態と、地表面の角度なども情報として持つ事で、校正のために必要なパラメータを逐次取得していく必要がある。

図 5.においては、周辺からのノイズとしての線量率が常に高いため、その値を校正するためのパラメータ計算が必要になる。現在この校正についてどの程度正確に求めることができるかについては、今後より計測データを増やすことで、検討していきたいと考えている。

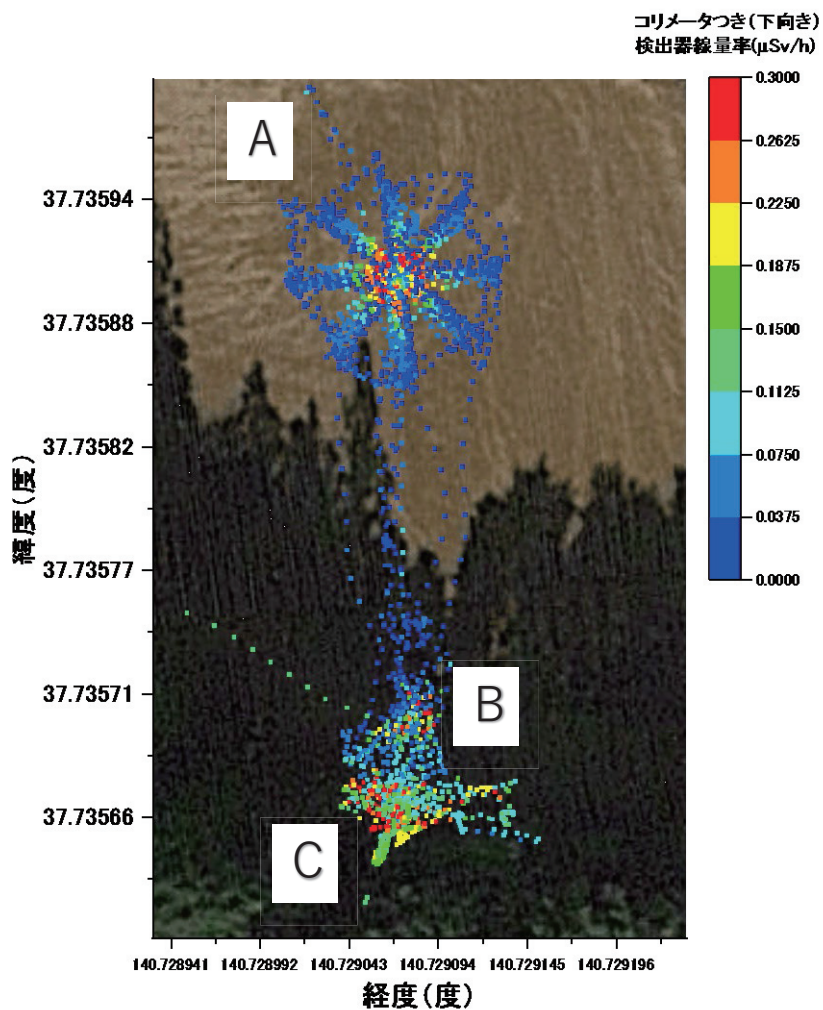


図 2. KURAMA による歩行サーベイの結果 (基準線源による校正計測)

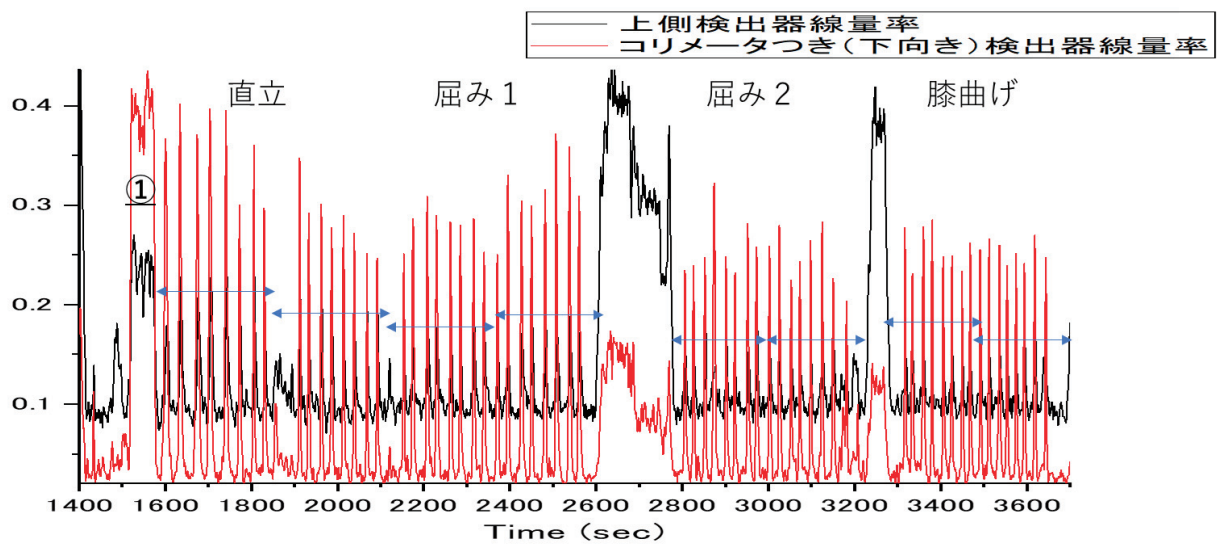


図 3. (A) 平坦なエリアにおける計測結果

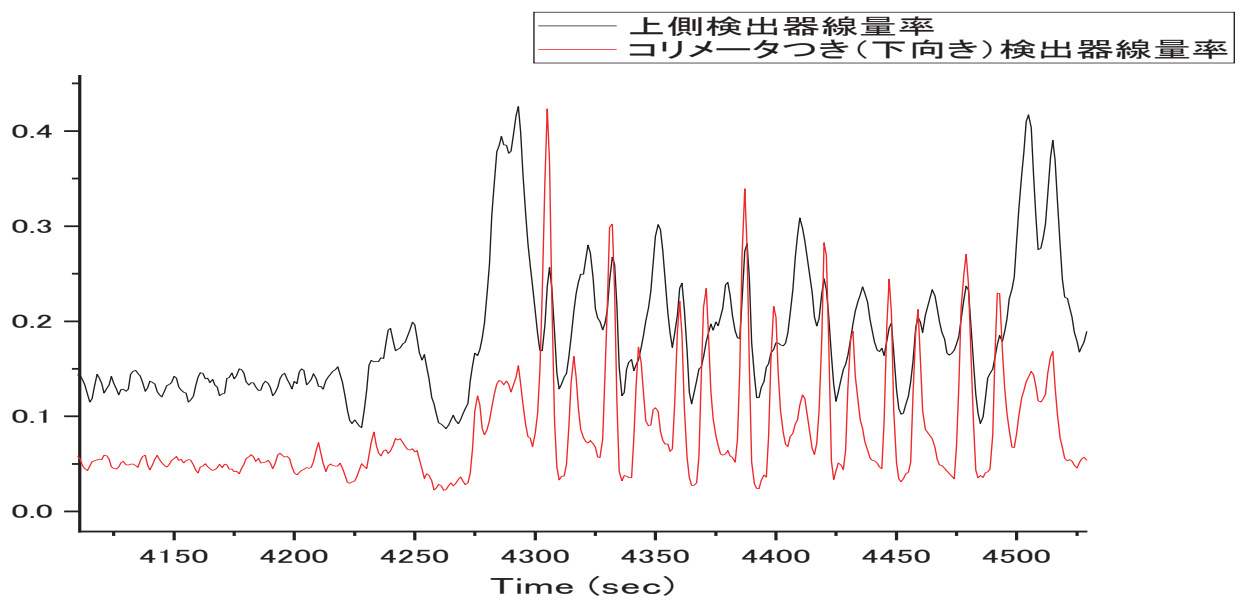


図 4. (B) 斜面における計測結果

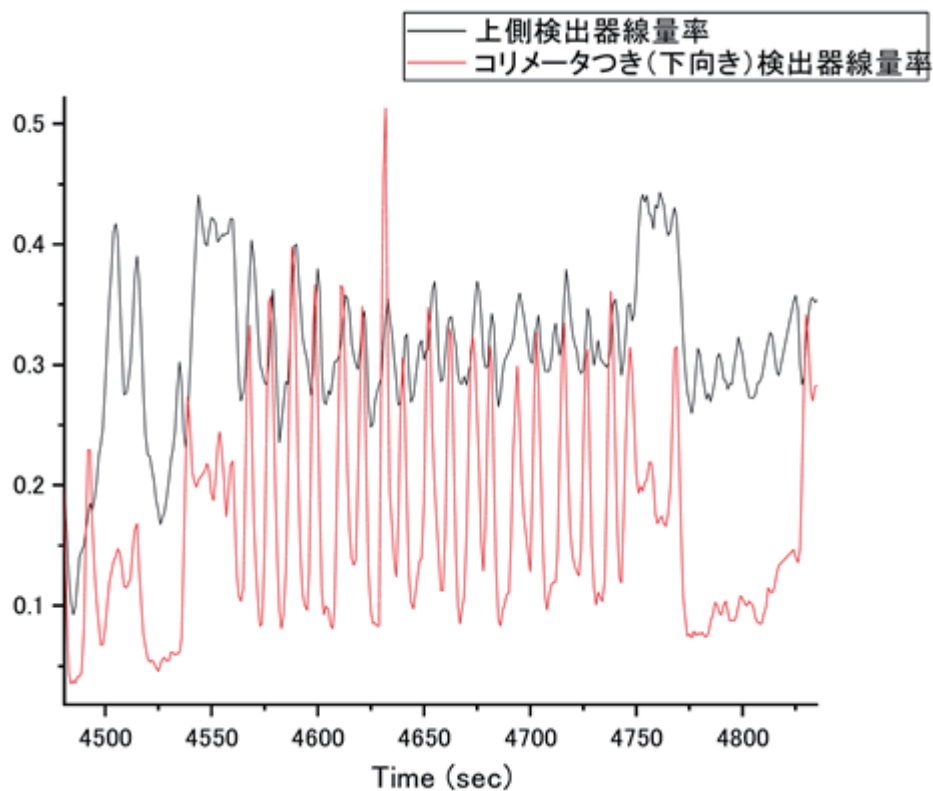


図 5. (C) ノイズ源周辺における計測結果

4. まとめ

福島県飯舘村を中心とした農地・牧場において、環境放射能のリアルタイムモニタリングのための校正計測を行った。京都から現地までの距離は離れているが、大学間連携、またNPO法人とも協力して、経時的な環境放射能の推移を見守りつつ、データ収集を継続して行い長期的な変動や急な変化にも対応できるよう、今後も研究を続けていく。

参考文献

- 1) 土木学会論文編集委員会：土木学会論文集投稿の手引，論文集編集委員会関連資料，土木学会，pp.8-22，1998.
- 2) Kanamori, H., Aki, K. and Heaton, T.: Real-time seismology and earthquake hazard mitigation, Nature, Vol. 390, pp. 461-464, 1

先進環境調和型バイオエタノール生産シナリオの創成

Develop an advanced eco-friendly scenario for bioethanol production

Sadat Mohamed Rezk Khattab¹, 岡野 啓志¹

片平 正人², 永田 崇², 渡辺 隆司¹

Sadat Mohamed Rezk Khattab¹, Hiroyuki Okano¹, Masato Katahira²,

Takashi Nagata² and Takashi Watanabe¹

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humansphere, Kyoto University, JAPAN.

²京都大学 エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University, Japan

Key Words: Biomass conversion, Microwave, Glycerolysis, Acid Catalysis, glycerol fermentation,

Xylose fermentation, glycerol- xylose- glucose fermenting *Saccharomyces cerevisiae*,

Bioethanol production.

1. Introduction

Climate conservation agreements imposed the imperative to find effective avenues for producing biobased chemicals and biofuels to decrease greenhouse gas emissions. Owing to the abundance of lignocellulosic biomass, explore replacing the production from these renewable resources represents a vital element especially with the growing needs. The biomass conversion laboratory previously reported the Microwave is assisting the organic and inorganic acids in the aqueous glycerol during pretreating that recalcitrance of softwood (1). Afterward, further developed the glycerolysis of biomass by alum and microwave (2). To develop this scenario, we generated via genetically engineering an efficient glycerol-fermenting yeast (3). Furthermore, we have been generated several xylose-fermenting yeasts (4, 5).

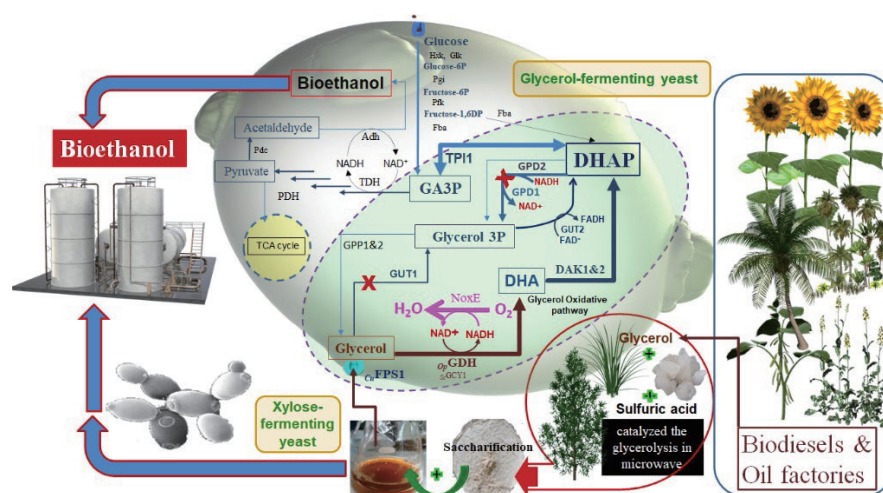


Fig. 1. Scheme for developing the scenario for bioethanol production from the lignocellulosic biomass

Therefore, we seek to further develop this methodology by studying the synergistic effects between alum and H₂SO₄ with glycerol in the microwave. Meanwhile using lower enzyme loading during the saccharification of the pulp (≤ 10 FPU/ g of biomass) and estimate the saccharification and fermentation efficiency. Thereafter, we will co-ferment glycerol with the released sugars of lignocellulose using our current genetically engineered yeasts (Fig.1). The second part of this project is to generate one cell factory of yeast and looking forward to exceeding the theoretical yield of production through comprehensive engineering of glycerol, xylose metabolic pathways. Besides, linking of the metabolic pathways through the bifid shunt pathway (Fig. 2).

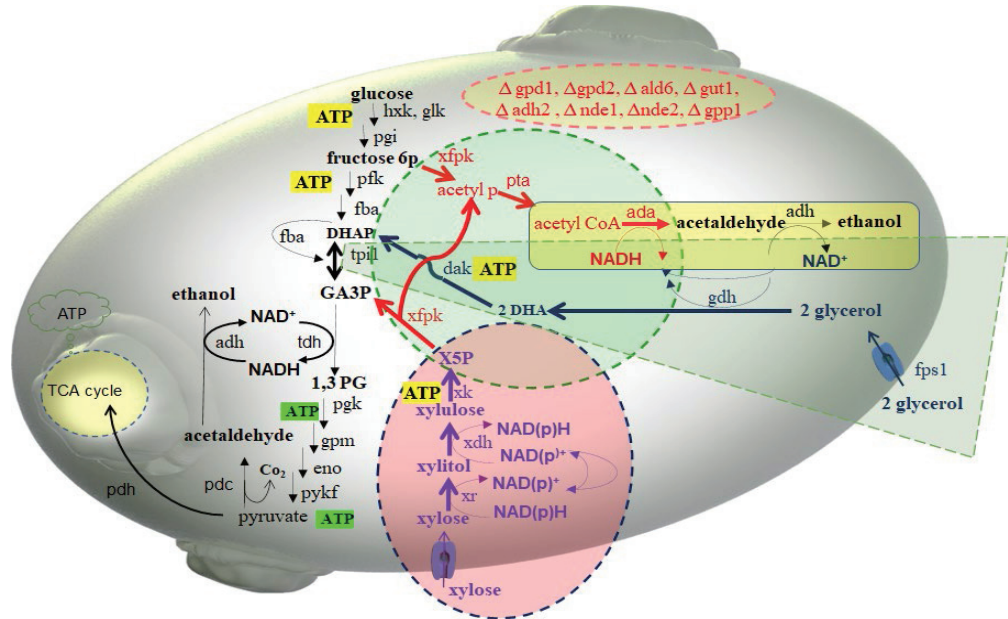


Fig.2. Develop a yeast cell for bioprocessing the glycerolysis of biomass

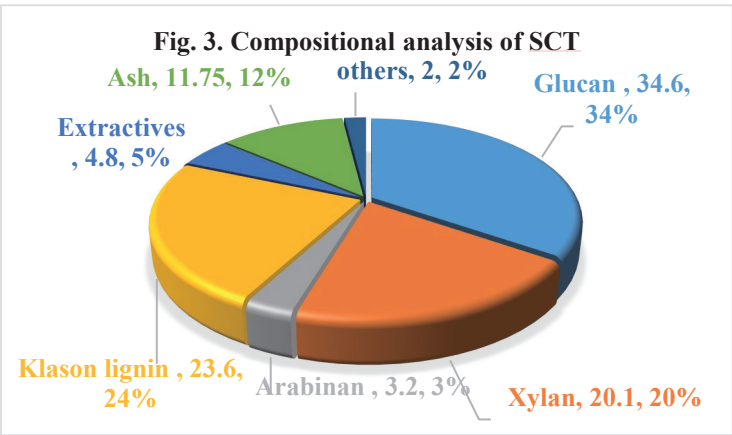
2. Methods

We are using sugarcane trash (SCT) as an abundance source of lignocellulosic biomass. The SCT was in this study was imported from Thailand. We followed the standard methods for detecting the compositional analysis (6-8).

Glycerolysis was carried out using 1 g SCT/ 15ml of 50 % glycerol, 1 % H₂SO₄, and 360μ/ g of alum for 30min of microwave reaction at different temperature (100, 110, 120, 130, 140,150).

3. Results and Discussion

The compositional analysis of SCT consisted the other reported data, although we noticed higher ash content of our sample than the average level. The compositional analysis showed in Fig.3.



The noticeable effects of reaction temperature can be seen in the (Fig.4).

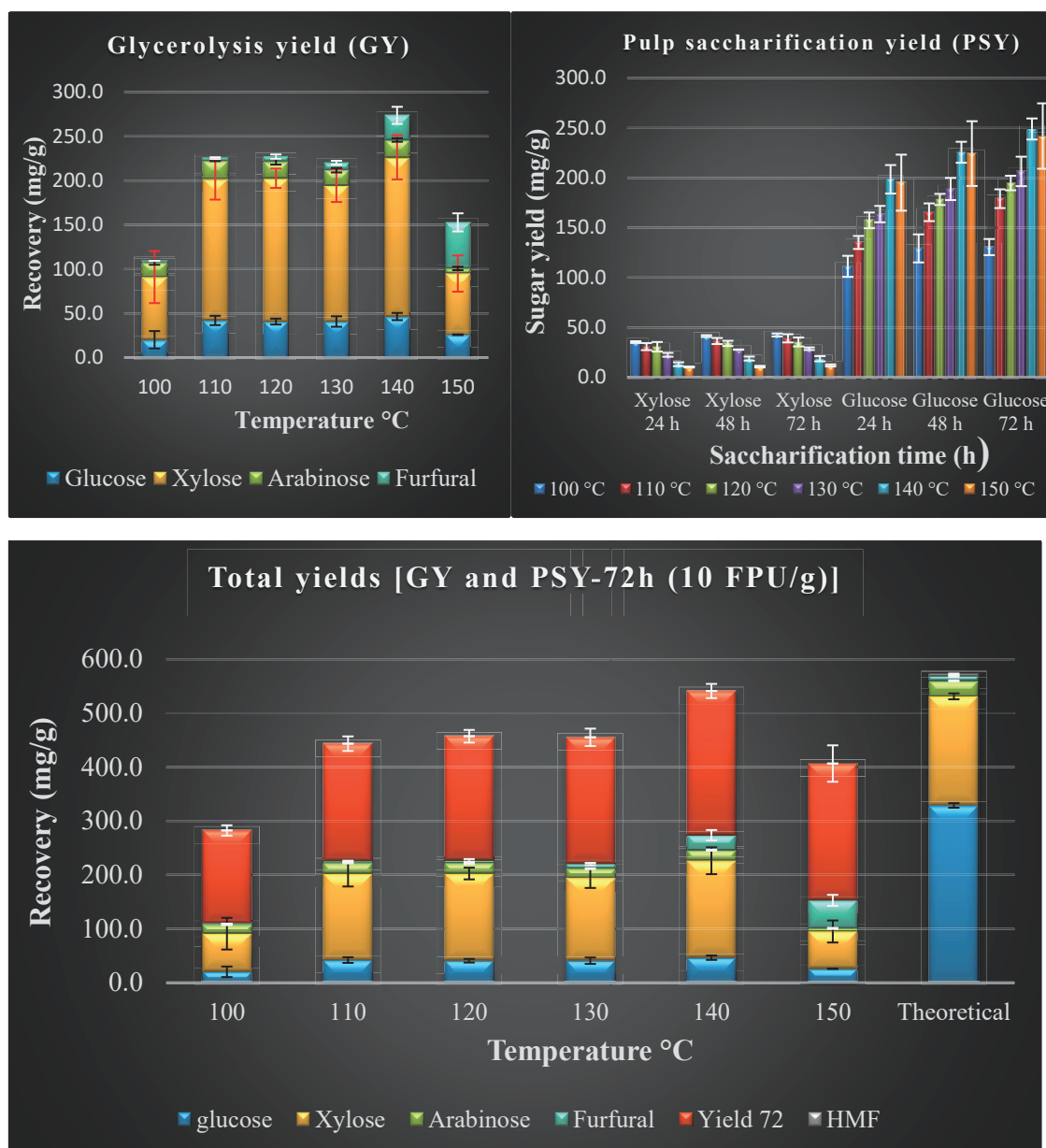


Fig. 4 Yields of carbohydrates obtained by microwave glycerolysis and enzymatic saccharification

4. Conclusion

Catalysis glycerolysis in microwave by 1 % H₂SO₄ and 360 μM/g alum efficiently support the saccharification of SCT, where up to 95% of the maximum recovery was obtained by glycerolysis and 10 FPU/g of Cellic® CTec2.

5. Acknowledgements

A part of this study was supported by e-Asia project “Integrated biorefinery of sugarcane trash.”

6. References

- 1- Liu J, Takada R, Karita S, Watanabe T. Honda Y, Watanabe T. 2010. Microwave-assisted pretreatment of recalcitrant softwood in aqueous glycerol. *Bioresour Technol* 101(23): 9355–9360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.023>.
- 2- Ohashi Y, Watanabe T. 2018. Catalytic Performance of Food Additives Alum, Flocculating Agent, $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , and Other Lewis Acids in Microwave Solvolysis of Hardwoods and Recalcitrant Softwood for Biorefinery. *ACS Omega* 3(11): 16271–16280. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01454>.
- 3- Sadat M. R. Khattab, Takashi Watanabe Comprehensive metabolic engineering for fermenting glycerol efficiently in *Saccharomyces cerevisiae*. *AEM*, under review, doi: <https://doi.org/10.1101/2021.02.13.430370>
- 4- Khattab SMR, Saimura M, Kodaki T. 2013. Boost in bioethanol production using recombinant *Saccharomyces cerevisiae* with mutated strictly NADPH-dependent xylose reductase and NADP⁽⁺⁾-dependent xylitol dehydrogenase. *J biotechnol.* 165(3-4): 153–156. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2013.03.009>.
- 5- Khattab SMR, Kodaki T. 2014. Efficient bioethanol production by overexpression of endogenous *Saccharomyces cerevisiae* xylulokinase and NADPH-dependent aldose reductase with mutated strictly NADP⁺-dependent *Pichia stipitis* xylitol dehydrogenase. *Process Biochem* 49: 1838–1842. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.07.017>.
- 6- A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, D. Crocker, Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass, NREL/TP-510-42618, Colorado, 2012.
- 7- A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, Determination of Extractives in Biomass, Natl. Renew. Energy Lab., NREL/TP-510-42619, 2008, p. 9.
- 8- A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, Determination of Ash in Biomass, Natl. Renew. Energy Lab, NREL/TP-510-42622, 2008.

5種類の熱帯早生樹からの木材の触媒急速熱分解による グリーン芳香族化合物の生産

Production of Green Aromatics through Catalytic Fast Pyrolysis of Wood from Five Tropical Fast Growing Trees Species

Joko Sulistyo 1, 畑 俊充², Sri Nugroho Marsoem 1,
Ganis Lukmandaru 1, Yunida Syafriani 1, 本間 千晶³, 渡辺 隆司²,
吉村 剛²

Joko Sulistyo 1, Toshimitsu Hata 2, Sri Nugroho Marsoem 1,
Ganis Lukmandaru 1, Yunida Syafriani 1, Sensho Honma 3,
Takashi Watanabe 2, and Tsuyoshi Yoshimura 2

¹Department of Forest Products Technology, Faculty of Forestry, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, JAPAN.

³北海道立総合研究機構林産試験場

Forest Products Research Institute, Hokaido Forestry Research Organization, Japan

化石資源の枯渇や環境劣化といった問題を解決するために、未利用植物資材から有用化学物質を生産することが求められる。本研究は、熱帯産木質バイオマスから得られる液化物および熱分解残渣を有用物質として活用することを目的とした。木質バイオマスに対し触媒を加え得られる有用化学品を含む熱分解液化物をPy-GCMSにより確認した。

Key Words: aromatics, catalytic fast pyrolysis, Py-GC/MS, wood characteristics, ZSM-5 catalyst

1. はじめに

木質バイオマスは熱帯地域において大量に利用入手可能で、有機化学製品の出発原料となる。また木質バイオマスを効率的に変換することにより、安価な燃料や有用有機化学物質を生成する可能性がある。クリーンエネルギーの開発は、化石燃料から木質バイオマスのような再生可能なエネルギー源へ移行することにより、持続可能な社会が実現につながる。大きい加熱速度でバイオマス原料を急速熱分解することによって、出発原料の重量の70-75%の液体が得られる。粗熱分解液体製品は、その高いエネルギー密度から、将来エネルギー製品として使用される可能性が高い。Carlsonらは、急速熱分解の反応器を用いてバイオマスからベンゼン、トルエン、ナフタレンを含む芳香族化合物を生成するためのシングルステップの触媒急速熱分解を開発した。芳香族化合物の生成と選択性は、触媒と原料の重量比、加熱速度、反応温度の関数として明らかにされた。

熱帯早生樹の木質バイオマスを出発原料とした触媒急速熱分解による液体燃料・芳香族化合物製造に関する研究はあまり行われていない。先行研究では、レッドメランティ (*Shorea leprosula*) バイオマスの触媒急速熱分解により、ベンゼン、トルエン、スチレン、ナフタレン、インダンなどの芳香族化合物が生成されることを見出された。熱帯地域には、木材の特性が異なる多くの早生樹が存在するため、出発原料となる木質バイオマスの選択は有用である。本研究では、5種の熱帯産早生材からの急速熱分解により得られる芳香族化合物をPy-GC/MSを用いて評価した。

2. 実験方法

インドネシア東ジャワ州のコミュニティ林で栽培されているジャボン (*Antocephalus cadamba*)、センゴン (*Paraserianthes mollucana*)、バルサ (*Ochroma sp*) の樹木の下部からディスク状試料を採取した。さらに、インドネシアのジョグジャカルタにあるガジャマダ大学のワナガマ実験林で栽培されたマンギウム (*Acacia mangium*) とユーカリ (*Eucalyptus pellita*) の2種の木材を使用した。ディスク状試料を粉碎して粉末にし、金網スクリーンでふるいにかけ、0.25~0.42mmの粒度範囲の粒子を得た (40メッシュのふるいを通し、60メッシュのふるいに保持されている)。触媒はZSM-5を使用した。

水分、灰分および揮発分は、それぞれASTM D2867-70, D2866-70およびD1762-64に準拠した熱重量測定法により測定した。固定炭素含有量は、差分法により推定した。シングルショットモード熱分解器を、長さ30m×直径0.250mmのDB-5HTキャピラリーカラムをGC/MSに直接接続し木材の熱分解を行った。

2. 結果と考察

2.1 工業分析

どの樹種も揮発分が高く、一方で固定炭素や灰分の含有量は低く、Meincken および Tyhoda が示した値と同程度であった。分散分析の結果、ジャボン、センゴン、バルサの揮発分、固定炭素、灰分の含有量に有意な差は見られなかった。またジャボン、センゴン、バルサの揮発分は、Gomez-Serrano らが報告したユーカリやロックローズの揮発分よりも高かった。ユーカリは、ジャボン、センゴン、バルサに比べて灰分含有量が少ない。ユーカリ材の灰分含有量が少ないことは、無水糖や高分子のフランやピランの収率の高さや、リグニン由来の生成物であるビニルグアイアコールやシリンゴールの収率の低さに影響を与えていると考えられる。

2.2 非触媒および触媒による急速熱分解

ユーカリとバルサ材の非触媒的熱分解と触媒的熱分解のトータルイオンクロマトグラムの結果から、バルサ材とユーカリ材の無触媒急速熱分解と触媒急速熱分解の相対的な主要なピークが示された。レボグルコサンとフルフラールの相対的なピークは、ユーカリ材の無触媒的急速熱分解と触媒的急速熱分解で大きく異なっていた。一方、バルサ材の無触媒急速熱分解と触媒急速熱分解では、両者のピークの差は小さくなった。ユーカリの急速熱分解における触媒プロセスでは、ZSM-5の存在下でレボグルコサンやフルフラールなどの酸素化合物の大部分が芳香族化合物に分解された。一方、バルサ材の急速熱分解では、レボグルコサンやフルフラールの一部が芳香族化合物に分解されることがわかった。バルサ材の急速熱分解では、炭水化物蒸気からの中間種と思われる揮発性物質が豊富に放出された。この中間種は触媒表面に不飽和コークの形成を引き起こす可能性がある。外表面でのコーク形成はゼオライトの不活性化の原因となり、ゼオライト細孔内でのコーク沈着は反応物の毛細管流量と拡散流量を減少させ、最終的に芳香族化合物の収率を低下させる。芳香族化合物の生成量は、触媒と原料の重量比の関数として表されることがわかっているため、バルサ材の急速熱分解から芳香族化合物を生成するためには、より多くのZSM-5 触媒が必要になると思われる。

3. 結論

ユーカリの急速熱分解における触媒プロセスでは、ZSM-5の存在下でレボグルコサンやフルフラールなどの含酸素化合物の大部分が芳香族化合物に分解された。バルサ材の急速熱分解では、表面触媒上での生成するコークの触媒作用によりレボグルコサンとフルフラールから芳香族化合物が生成されることがわかった。

豪雨に伴う土砂災害に対する地域レジリエンスの向上のための 実効的斜面ハザード評価ツールの確立と供出

Development of an assessment tool for hillslope hazards by heavy rainfall: toward
resilient local society

松四雄騎¹, 甲山 治², 渡邊哲弘³, 山本博之²

Yuki MATSUSHI¹, Osamu KOZAN², Tetsuhiro WATANABE³
Hiroyuki YAMAMOTO²,

¹京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

²京都大学 東南アジア地域研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

³京都大学 地球環境学堂

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

This report describes scope and strategy of the project for establishing an assessment tool for hillslope hazards to enhance disaster resilience of regional society. A system for prediction of shallow landslides by heavy rainfall will be developed, which is then going to be applied for risk communication between researches and local residents. In the modeling, production and accumulation of soil on hillslopes to be slid are simulated based on concentrations of cosmogenic nuclide in mineral grains in weathered bedrock. Hydrological processes in the soil layer are also modeled and validated by observation. Effects of vegetation on slope stability is also evaluated based on in-situ testing. A prototype of the system has been developed and checked its predictability for rainfall-induced landslides.

Key Words : hillslope hazard, landslide prediction, disaster resilience, risk communication

1. はじめに: 研究の背景と目的

過去数年間にわたるグローバル生存基盤展開ユニットでの研究により、山地の斜面における森林生態系の生存基盤としての土層のダイナミクスと寿命およびそれらをもたらし斜面変動と流域土砂災害について、定量的なモデル化と予測システムの構築を進めることができた。後継の持続可能社会創造ユニットでは、これまでに得られた成果を社会実装して、SDGの達成に資するためのシステムの高度化と方法論的研究を並行して進めるべく、新しい体制でのプロジェクトを立ち上げた。本稿ではこのプロジェクトの研究背景と目的および実施の計画について述べ、具体的なタスクを整理する。

近年の人為的気候変動の影響により、東アジアの各地で、土砂災害が大規模・高頻度化しており、豪雨の頻度・強度の増大が予想される将来気候下では、土砂災害リスクのさらなる顕在化が懸念される。防災対策として、砂防堰堤のような人工構造物を全ての流域に完備することは不可能であり、環境影響などの持続可能開発の観点からみてもふさわしい施策とはいえない。特に、東南アジアの発展途上諸国においては、経済的な観点から、ハード対策の推進だけで被害軽減を達成することは現実的でない。豪雨による土砂災害にシなやかに対応できる強靱な地域社会を形成するには、構造物建築を基本としたハード対策による防災から、情報に基づく警戒・避難を主としたソフト対策による減災へと施策を転換し、気候変動適応の一環としてそれを普及させることで土砂災害への地域的なレジリエンスの向上を図る必要がある。

本研究では、革新的な斜面ハザードの評価・可視化システムを東南アジアの発展途上国に適用し、対象地域の土砂災害レジリエンスを飛躍的に向上させることを目的とする。このシステムでは、豪雨による斜面崩壊および土石流のハザード（危険度）の時空間変化を追跡し、山麓域での土砂災害リスクを可視化できる。これにより、従来よりも格段に確度・精度の高い警戒・避難情報の発信が可能となる。また、任意の想定豪雨を入力としたシミュレーションを行い、降雨強度や降雨量と、斜面ハザード増大の関連性を定量的かつ視覚的に提示し、地域住民とのリスクコミュニケーションのためのツールとしても活用する。

本提案では、まず東南アジアの山間域を対象に、申請者らによって開発が進められてきた革新的な斜面ハ

ザードの評価・可視化システムの試験的実装を行って適用性を確認（フィージビリティスタディを実施）する。そして将来的には、豪雨に対する土砂災害の減災のための標準ツールとしての供出（デファクトスタンダード化）を目指す。これにより、本システムが社会実装され、気候変動適応の一つとしてモンスーンアジア地域での豪雨災害の被害軽減に役立てられる。

2. 計画

具体的計画として、まず、山地の流域における斜面崩壊予備物質である土層の生成・集積速度を、宇宙線由来の放射性同位体の分析と、細密デジタル地形情報の解析によって決定し、土層の厚みの空間分布を計算する。次に、降水浸透に伴う土層中の間隙水圧変動をモニタリングしたのち、数値計算によって観測データを再現し、水文パラメータを決定する。最後にこれら二つの地形・水文モデルをカップリングし、降雨の進行に伴う斜面の不安定領域の広がりを評価する。このとき、森林の樹冠や根系が、降水浸透や土層補強に及ぼす影響を定量的に考慮する。得られた結果を、実際の豪雨による発災状況に照らして、モデルによる予測の精度と確度を検証する。

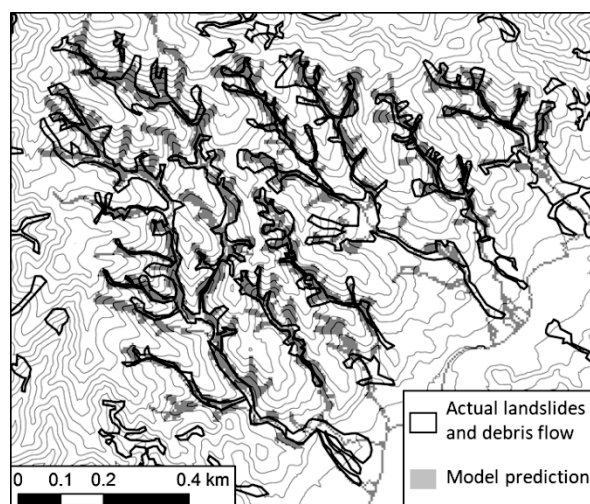


図 1. モデルによる土層発達—降水浸透—崩壊発生予測と検証例

プロトタイプモデルは既に構築され、過去の発災事例との対照により妥当性の確認が進められている（図 1）。ただし、予測の精度と確度には向上の余地があり、適用の方法論検討も課題として残されている。各過程のモデリングと計算を松四が、流域における水文過程と森林機能のモデル化の妥当性評価を甲山が、岩盤の風化と土層発達過程のモデル化の妥当性評価を渡邊が、地域社会への実装とリスクコミュニケーションにおける方法論の検討を山本が、それぞれ行う。

この研究アプローチは、熱帯・亜熱帯の山地流域における、気候変動・森林成立・土壌発達・水循環・土砂移動からなる水文地形過程の 5 要素の相互作用の深い理解に基づいて、減災を達成しようと企図するものである。流域の環境は地域社会の生存基盤を構成しており、こうした気圏・水圏・地圏・生物圏のそれぞれにおける地球表層プロセスの関わりをこれまでにない切り口から多階層的にとらえ、この生存基盤の寿命や持続可能性を多面的に評価して、減災の実現に役立てるといふ、真に統合的で全く新しい試みを実践しようとする点が、未踏科学における本研究の意義である。

本研究提案は、持続可能な開発目標のうち、目標 11（安全・安心な居住環境・地域社会の実現）、13（気候変動への対策・適応）、15（陸域の環境保全）の達成に関連する。斜面ハザードを定量的に評価し、可視化するシステムの供出は、安全・安心で災害に強い地域社会の形成に直接的に貢献できる。本システムを参照することで、土砂災害リスクの増大に直面している東アジア地域の行政官から実務者、地域住民にいたるまで、あらゆる階層のステークホルダーが豪雨時にどのように行動すればよいのか、指針を定めることができる（目標 11）。気候変動への対策は、いまや温室効果ガスの排出抑制などの原因対策にとどまらず、既に変化し始めた気候への対応が迫られている。本研究は、豪雨頻度の増大による土砂災害リスクの増大という問題に対し、社会実装可能なツールの開発・提供により、実効的な対応策を提示するものである（目標 13）。提案するシステムは、森林による山地斜面の保全効果モデルを内包しており、森林伐採に伴って、斜面ハザードがどれほど増大するかを計算することもできる。すなわち、森林被覆環境における人為的土地改変が、どれほど災害リスク増大させるかを定量的に評価でき、森林伐採等の土地利用変更を含む開発の帰結と開発可能限界の指標を提示できる（目標 15）。

網状流路河川周辺の都市の持続的な発展のための 最適な河川整備の検討

Suitable river regulation work for sustainable development of cities
around braided rivers

竹林 洋史¹, 藤田 正治¹, 中西 嘉宏², ティン ティン トウエ³

Hiroshi TAKEBAYASHI¹, Masaharu FUJITA², Yoshihiro NAKANISHI²
and TIN TIN HTWE²

¹京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

²京都大学 東南アジア地域研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

³マンダレー工科大学

Mandalay Technological University

Lands in and around rivers are the habitat for human being and riverine fauna and flora. These lands are deformed due to floods with time and have life-time. In this study, relationship between life of people and flow/channel deformation characteristics of the Ayeyarwady River, Myanmar is investigated and the suitable river regulation works for braided rivers are discussed.

Key Words : Braided river, Ayeyarwady river, river regulation work, Mandalay

1. はじめに

エーヤワディー川はミャンマー国内を南北に縦断する大河川であり、流域面積は日本国土の面積よりも広い413,710km²である。エーヤワディー川流域内の船舶航行可能距離は3,200kmに及び、ミャンマー国内における物資輸送用航路として重要な役割を果たしている。一方、エーヤワディー川は、図2に示すように、中流域で網状流路と呼ばれる流路形態となっている。網状流路は流路の分岐・合流が多くの場所で発生し、大小様々なスケールの流路が網目状の流路網を形成して流れている状態である。そのため、流路間の流水・流砂の相互作用によって流路の位置や形状が頻繁に変化し、航路の維持が非常に難しい河川である。また、流路の位置や形状の変化は、河岸浸食を発生させるとともに洪水氾濫を誘発するため、網状流路周辺は生活の場として不安定である。そのため、網状流路周辺の都市の形成には流路の変動特性及び洪水流の氾濫特性が強く影響を与えているとともに、都市の持続的な発展のためには流路及び洪水流の特性を考慮した河川整備が重要となる。一方、流路変動や洪水氾濫に対する市民の考え方は、国や地域によって大きく異なる。例えば、河川周辺に人口が密集している日本の低平地のような地域では、洪水氾濫は大きな脅威となっており、治水が河川整備の重要な目標となる。一方、毎年のように洪水が氾濫するカンボジアのトンレサップ湖・トンレサップ川周辺では、洪水を利用した農業・漁業が営まれており、洪水は生活に必要な不可欠な存在となっている。また、河川を航路として利用している地域では、流路変動は可能な限り抑制することが河川整備の目標となるが、堤防が強固に建設されている河川が多い日本では、低水路における流路の変動は、河床の間隙の好気性を高めることによって河道内の動植物の生息場の質を高めており、河道内の生態システムの保存・創生に有効となる。そのため、河川整備の方法は、対象地



図1 エーヤワディー川に設置された水制

図2に示すように、中流域で網状流路と呼ばれる流路形態となっている。網状流路は流路の分岐・合流が多くの場所で発生し、大小様々なスケールの流路が網目状の流路網を形成して流れている状態である。そのため、流路間の流水・流砂の相互作用によって流路の位置や形状が頻繁に変化し、航路の維持が非常に難しい河川である。また、流路の位置や形状の変化は、河岸浸食を発生させるとともに洪水氾濫を誘発するため、網状流路周辺は生活の場として不安定である。そのため、網状流路周辺の都市の形成には流路の変動特性及び洪水流の氾濫特性が強く影響を与えているとともに、都市の持続的な発展のためには流路及び洪水流の特性を考慮した河川整備が重要となる。一方、流路変動や洪水氾濫に対する市民の考え方は、国や地域によって大きく異なる。例えば、河川周辺に人口が密集している日本の低平地のような地域では、洪水氾濫は大きな脅威となっており、治水が河川整備の重要な目標となる。一方、毎年のように洪水が氾濫するカンボジアのトンレサップ湖・トンレサップ川周辺では、洪水を利用した農業・漁業が営まれており、洪水は生活に必要な不可欠な存在となっている。また、河川を航路として利用している地域では、流路変動は可能な限り抑制することが河川整備の目標となるが、堤防が強固に建設されている河川が多い日本では、低水路における流路の変動は、河床の間隙の好気性を高めることによって河道内の動植物の生息場の質を高めており、河道内の生態システムの保存・創生に有効となる。そのため、河川整備の方法は、対象地

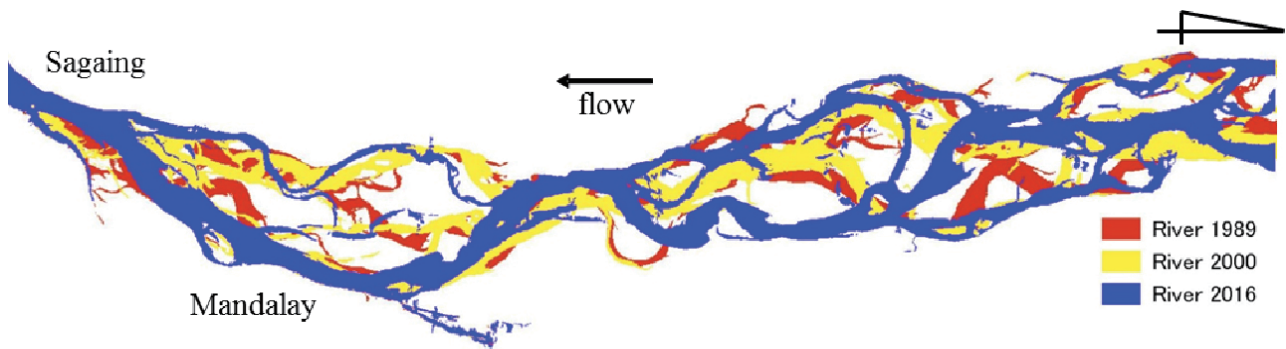


図2 ミャンマー国マンダレー市周辺のエーヤワディー川の流路の平面形状の経年変化 (Source: Data is provided from Ministry of Transportation, Myanmar)

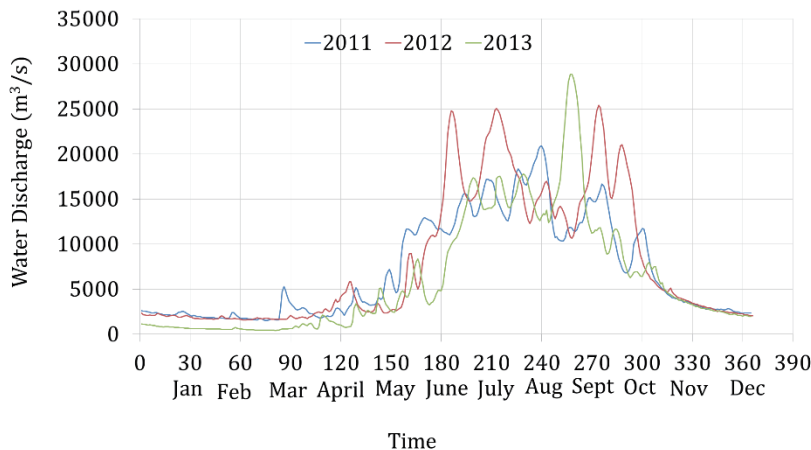


図3 Sagaing 地点 (マンダレー市) のエーヤワディー川の流量 (Source: Data is provided from DMH)

域の社会的な要請を把握し、それらの社会的要請のバランスを取りながら、最適な方法を決定することが望まれる。本研究では、対象地域の社会的な要請を把握しつつ、網状流路周辺の都市の持続的な発展のための最適な河川整備の方法を検討するものである。

2. エーヤワディー川における河川整備

ミャンマーでは、植民期からエーヤワディー川 (イラワジ川) の管理は非常に重要であったと考えられ、エーヤワディー川の水位、流速、浮遊砂量、河床位、河床材料の粒度について、比較的長期間観測されており、東南アジアの他の発展途上国と比べても河川のデータが豊富である。また、マンダレー市周辺のエーヤワディー川には、流向のコントロールを目的とした図1に示すような水制が非常に多く設置されている。つまり、航路維持のための流路位置の固定化の社会的要請が非常に高いことがわかる。また、図4に示すように、2008年時点でいくつかダムが建設されており、建設中のダムも複数存在する。これらのダムは、発電を目的としたものであり、発展しつつあるミャンマーにおける電力需要の増加に対応して整備が進みつつある。

図4に示すように、乾期のエーヤワディー川の流量は約 $2000\text{m}^3/\text{s}$ であるが、雨期は約 $25000\text{m}^3/\text{s}$ となり、流量が10倍以上異なる。そのため、乾期に中州が河岸として陸化している地域であっても雨期に浸水する。マンダレー市街地も浸水することがあり、都市の住民は洪水に対する危機感が強い。一方、これらの中州やマンダレー市郊外の流路周辺の土地は乾期には農地として利用されており、人家も存在する。このような土地の住民は、雨期には地盤の高い場所に移動する。つまり、洪水特性や流路変動特性を考慮した生活が営まれており、洪水現象を市街地の住民ほど強く災害現象としては捉えていない。

3. まとめ

マンダレー市周辺のエーヤワディー川を対象として、網状流路周辺の都市の持続的な発展のための最適な河川整備の方法の検討を始めた。マンダレー市周辺の網状流路の河川整備を実施するためには、生活環境の大きく異なる市民の河川との関わりを考慮しつつ、治水と利水を考慮した河川整備が必要であり、今後、より具体的な河川整備方法について検討を進める。

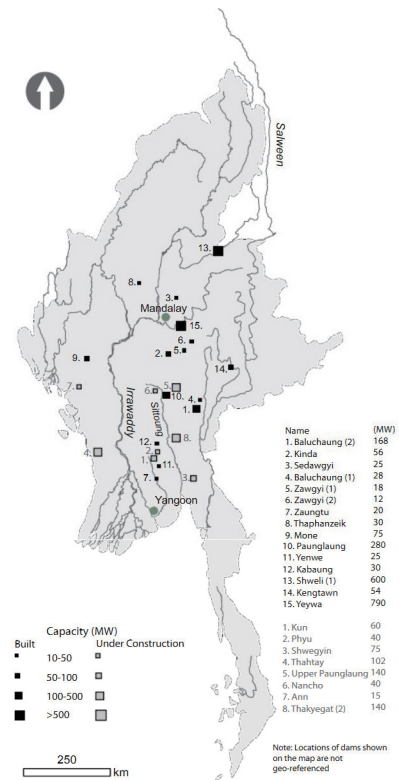


図4 ミャンマー国内の建設済みのダム (RPTCC (2008a, 2008b), Earthrights International (2008))

スマトラ島の熱帯湿潤流域を対象にした 洪水・火災リスクに対する温暖化適応策

Climate Change Adaptations for Flood and Fire Risks in Humid Tropical River Basins in Sumatra Island

佐山 敬洋¹, 山本 エバ ミア シスカ¹, 山本 浩大², アピップ³

Takahiro SAYAMA¹, Eva Mia Siska YAMAMOTO¹, Kodai Yamamoto² and Apip³

¹京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

²京都大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kyoto University

³インドネシアLIPI陸水学研究所

LIPI Center for Limnology, Indonesia

This project investigates the conditions of floods and peatland fires in humid tropical river basins, whose downstream have been widely developed for oil palm plantations. We analyze remote sensing data to evaluate the relationship between flood and fires. We particularly focus on the Batanghari River basin in Sumatra Island and apply the Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model reflecting local hydrologic characteristics. This paper summarizes our research proposal and the summary of the primary output using the modeling and remote sensing.

Key Words : Peatland, Flood, Fire, Haze, Humid Tropics, Hydrology, Sumatra Island

1. 研究の背景と目的

世界の熱帯泥炭地のうち、約60 %は東南アジアに位置しており、その面積は約23万km²と本州に匹敵する面積を有する。インドネシア・スマトラ島のプランテーションは90年代に急速に開発が始まり、1985年から25年間で約25%の熱帯雨林が消失し、現在は、広大なアブラヤシのプランテーション地帯が広がっている。アブラヤシは、20~30年で収穫量が減少するため、スマトラ島では近い将来に広範で植え替えの時期を迎える。土地利用変化と気候変動は、流域水循環や土壌水分量に影響を及ぼし、洪水や森林火災などの災害リスクを増大させる。また、上流河川の流況が変化すると、泥炭湿地の水循環に影響を及ぼすと同時に、メガライスプロジェクトなど湿地帯の乾燥化を伴う農地転用は、泥炭火災のリスクを増大させる。事実、2015年に発生した火災では、スマトラ島の森林や泥炭湿地で10,279km²が燃焼し、発生した煙害（ヘイズ）が国際的な環境問題に発展した。気候変動の影響で、下流の泥炭湿地で浸水が長期化し、場所によってはアブラヤシのプランテーションを継続できなくなる可能性が示唆されている。また、泥炭湿地の湿潤化は、泥炭火災のリスク軽減に結び付く可能性がある。しかし、衛星画像の解析によると、雨季に洪水の被害を受けて、乾季に泥炭火災も発生するという二重苦を経験した地域も存在していることが分かってきた。当該地域にとって最悪のシナリオは、洪水リスクが高い地域で農地の利用が放棄され、地下水を含む管理が十分に行き届かなくなり、さらに泥炭火災のリスクが高まるという状況である。既往研究の多くは、洪水と火災を別のハザードとして取り扱ってきた。下流に泥炭湿地が広がる熱帯流域では、土地利用、土壌水分、流出、洪水氾濫などを媒介して、その両者が関係する（図1）。洪水と火災リスクの相反性や因果関係などを明らかにしたうえで、将来の災害リスクを推定し、適切な土地利用管理の方策を明らかにする必要がある。この地域の土地利用施策は、当該地域の社会経済活動はもとより、グローバルな温室効果ガスの排出にも影響を及ぼす。

具体的な研究手法としては、スマトラ島バタンハリ川流域を対象に、降雨流出から洪水氾濫までを一体的に解析する水文モデルを適用する。また、適用した水文モデルに、気候変動の予測情報を入力して、地表の水分状態や、泥炭湿地帯における浸水の状況を予測する。さらに、様々なリモートセンシング情報を活用することによって、土地利用の変化、森林火災の発生状況、土壌水分量の時空間分布などを推定し、同上モデリングの結果と比較を行う。火災のリスクについては、実際に森林や泥炭で発生している火災をリモートセンシングでモニタリングする。さらに、東南アジア研究所のグループがスマトラ島の泥炭湿地周辺に設置し

た高時空間分解能の小型気象レーダーを用いて、降雨の時空間分布を詳細に分析し、水文モデルに入力することによって、洪水・火災リスクマップを作成する。気候変動の影響も踏まえて推定したリスク情報をもとに現地のステークホルダーからも意見聴取をしながら、広域に広がるプランテーションに関する持続可能な気候変動適応シナリオを検討する。

2. 今年度の成果概要

(1) Sentinel 衛星情報によるプランテーション地帯の特定

Sentinel 1 と 2 の衛星画像を活用し、植林後 3 年以内とそれ以降のアブラヤシプランテーションの空間分布を識別するアルゴリズムを開発して適用した。分類方法は Google Earth Engine のプラットフォームにおけるランダムフォレストを使用した。Google Earth Pro のオルソ画像から収集した 5,455 地点をトレーニング情報として活用した。なお、植林後 3 年以内のアブラヤシは、オルソ画像の結果をもとに、クラウン投影面積 (CPA) が 16m²未満のアブラヤシと定義して識別した。分類の精度を改善するために、Sentinel 1 および 2 の標準バンドに加えて、テクスチャ分析を適用した。その結果、87%の推定制度で、植林後 3 年以内のアブラヤシとそれ以降のアブラヤシを分類することが可能となった¹⁾。

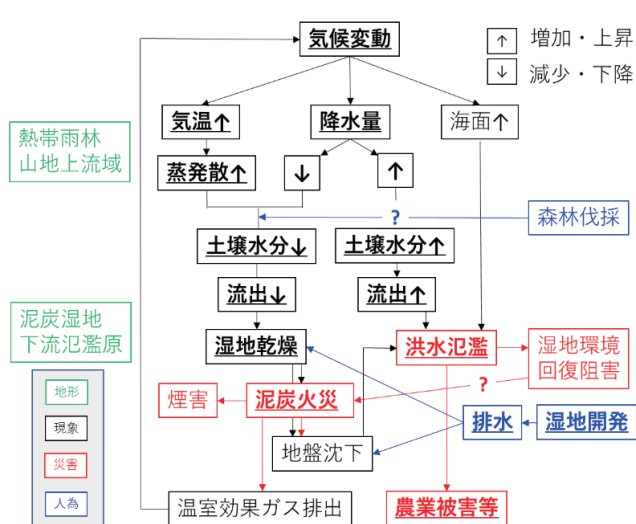


図1 熱帯泥炭湿地における洪水と火災研究のフレーム

(2) アブラヤシの洪水被害関数の推定

バイアス補正された NHRCM の降雨データを RRI モデルに入力し、RCP8.5 シナリオにおける 21 世紀後半を対象に、浸水深が継続的に 25 cm 以上となる浸水期間を毎年求めた²⁾。また、JICA 報告書に基づく浸水期間と、植林後 3 年以内のアブラヤシの致死率を線形補完して、浸水期間を変数とする被害関数を求めた。この被害関数を持ちいて、RRI モデルの出力結果から植林後 3 年以内の致死率を各グリッドセルで求めた。

図 2 は、現在気候と将来気候下の植林後 3 年以内のアブラヤシの致死率分布を示す。下流部では、アブラヤシが生育する 3 年間に、致死率が 50 %を超える領域が存在し、下流部全体におけるその面積率は、現在気候下の 9 %から将来気候下では 27%に増加することがわかった。また、泥炭地の空間分布とこの致死率分布の空間解析により、致死率が 50 %を超える領域は、将来気候下では、泥炭ドームと呼ばれる微高地（現在の主要なプランテーション農地）に拡大することがわかった。泥炭地におけるプランテーションは地下水位の維持が不可欠であり、泥炭ドームで浸水が頻発すると、アブラヤシのプランテーション農業にとって大きな経済的損失となり、現在の形態でのプランテーションを維持できなくなる可能性もある。泥炭地の耕作放棄は、泥炭火災にも結び付くので、浸水状況の変化傾向や予測を踏まえた適応が必要となる。

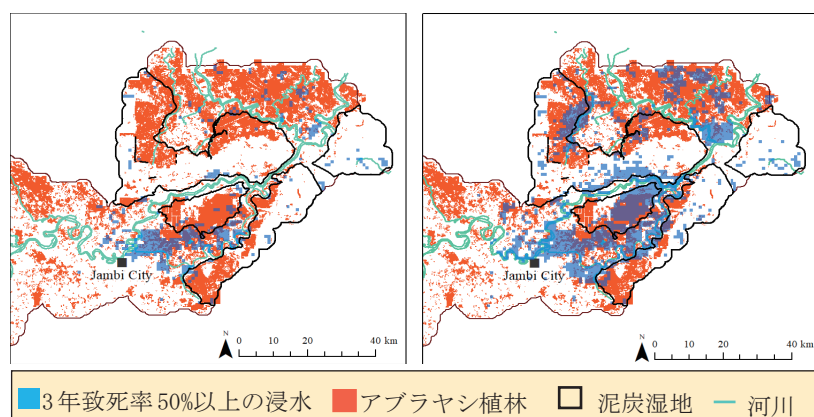


図2 アブラヤシの植林後 3 年以内の致死率が 50 %を超える領域の変化：(左) 現在気候と(右)将来気候
参考文献

- 1) Yamamoto, EMS., Sayama, T., Yamamoto, K. & Apip: Mapping of Mature and Young Oil Palm Distributions in a Humid Tropical River Basin for Flood Vulnerability Assessment. IOP Conference Series. Earth and Environmental Sciences. (accepted), 2021.
- 2) Yamamoto, K., Sayama, T. & Apip: Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. Prog Earth Planet Sci 8, 5, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>.

熱帯泥炭地における災害および水文・気象情報の活用

Utilization of Disasters and Hydro-meteorological Information in Tropical Peatland

甲山 治¹, 小川 まり子¹, 細淵 倫子¹

Osamu Kozan¹, Mariko Ogawa¹, Michiko Hosobuchi¹

1 京都大学 東南アジア地域研究研究所
Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

We conducted a continuous radar operation in eastern Sumatra, Indonesia in collaboration with central government agencies (i.e., Agency for the Assessment and Application of Technology; BPPT). We intend to calculate river runoff and soil moisture in Riau Province (including Tanjung Luban Village), Indonesia by using radar-estimated rainfall and analyze fire hazards from a water management perspective. Data analysis will be carried out in collaboration with the local government (i.e., Regional Disaster Management Agency; BPBD) and the Politeknik Negeri Bengkalis, a polytechnic in Bengkalis, Riau, Indonesia.

Key Words : Tropical Peatland, Radar-estimated Rainfall, Fire Hazard

1. はじめに

広大な未利用可耕地として世界の注目を集めている熱帯泥炭湿地の利用において、最大の課題は火災予防である。火災が発生すると、大量に蓄積された有機物が長期間にわたって燃え続け、膨大な量の二酸化炭素を放出するのみならず地域住民の健康や地域経済に大打撃を与えている。本研究は、2009年以降継続的に水文・気象観測を行っているインドネシア国スマトラ島リアウ州ブンカリス県において、観測データや気象レーダー、ドローンなどで得られた情報をもとに、火災リスクの評価を行う。さらには住民への技術移転を草の根レベルで行ってきた経験を活かして、火災や大気汚染などの災害および水文・気象情報管理システムを構築する。

2. 熱帯泥炭地に関連するプロジェクト

インドネシア国内の泥炭地については、京都大学東南アジア研究センター（当時）の古川らが1980年代に土壌学および地域研究の視点から総合的な研究を行った。泥炭地域の人間社会の特徴を「通過型文化」と特徴づけており、一定の区画を永続的に利用しようとするのではなく、土地を点々と移動しながら利用し、その利用の仕方も固定せず、採取や漁、狩猟、農耕といったものを条件に合わせて選択して組み合わせるもので、生産基盤を蓄積しない社会だと結論づけている。その後、スハルト長期開発独裁下で外資導入と国内移民（トランスミグラシ）労働力が投入行われた結果、広範囲の泥炭地が企業農園（プランテーション）に転換されて、土地を乾燥化させた。

1990年代には中央カリマンタン州を対象としたメガライス（100万ha水田開発）計画により、大規模な運河掘削と熱帯泥炭林の伐採が行われたが、1998年のスハルト体制崩壊により頓挫するとともに大規模な火災が頻発することとなった。北海道大の大崎らは荒廃した中央カリマンタン州の泥炭地を対象として、2008-13年度に地球規模課題対応国際科学技術協力事業 SATREPS「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」を実施した。その結果、地上・衛星観測データ融合で炭素放出量を正確に測定するシステムを構築するなど研究とキャパシティビルディングの両面で大きな成果を挙げた。

一方で水文・気象現象に関する研究としては、2009-13年度に海洋研究開発機構の山中らによって実施された SATREPS「短期気候変動励起源地域における海陸観測網最適化と高精度降雨予測」では、インドネシアの降水現象における日周期の重要性と海岸線降雨集中を見出した。温帯的な晴天日ではなく、雨季悪天日に昼の海風が供給した多量の水蒸気が夜雨で「打ち水」として陸面を冷却することで顕著となる日周期の新たなメカニズムを提唱している。また収集データを水文・気象情報に変換することで、河川水文モデル計算への応用可能性も示している。

3. 泥炭地における水文・気象情報

熱帯泥炭地を管理する上でネックとなっているのが、火災の発生状況や水文・気象情報を迅速に把握することが難しいことである。日本においては気象庁および国土交通省により気象レーダーの整備が進み、豪雨を監視して洪水を予測することで被害を軽減してきた。さらには1995年に気象業務法が一部改正され、気象庁が一方通行型で「提供」していた天気予報から、双方向型の実況天気予報可能となった。例えば日本では「Yahoo!天気」アプリの合計ダウンロード数は2019年現在で約3000万といわれており、気象レーダーによる雨域の把握や実況天気予報が一般にも普及している状況である。

一方、東南アジアで最も広い観測範囲を有するインドネシア気象気候地球物理庁(以下BMKG)だが、降水量観測網の時空間解像度は十分とはいいがたい。例えば、泥炭地が多く分布するスマトラ島とカリマンタン島では、インドネシア気象気候地球物理庁(以下BMKG)が観測している降水量データの空間解像度は100km四方に一つほどであり、泥炭地の乾燥と火災リスクを評価するには難しい状況である。その一方で、インドネシア全土をほぼカバーする41台のCバンド気象レーダーを保有し、気象レーダー合成図を作成していることから将来的には両者を組み合わせることで、降水情報の劇的な改善が見込まれる。ただし現状においては、レーダー情報を元にした降水量などの水文・気象データへの変換は実用化されておらず、情報発信も未だに不十分である。

4. 泥炭地における災害情報の重要性

赤道域に位置するブンカリス県TL村では、2014年2月に村面積の約25%の4,500haが焼ける壊滅的な被害を受けた。気象データから解析すると、このときの2月の降水量は6mmで、なおかつ北東からの季節風が強かった。現地住民は年を北風(1, 2月)、東風(3, 4月)、南風(5-9月)、西風(10-12月)の4つの季節に分類する。北風と南風季節が乾期、東風と西風季節が雨期に相当するが、2014年に限り1月後半と2月だけではなく3月中旬までほとんど雨が降らなかった。図1は2014年2-3月の衛星データからの火災検出数と、リアウ州プカンバルおよびマレーシア国ムアルでの大気汚染観測データの比較で、このときの火災がリアウ州が位置するスマトラ島北東部に集中し、泥炭地火災で発生した大気汚染物質が季節風に乗って南東に位置するプカンバルに到達していることが分かる(図1, Kuwata et al. 2018)。

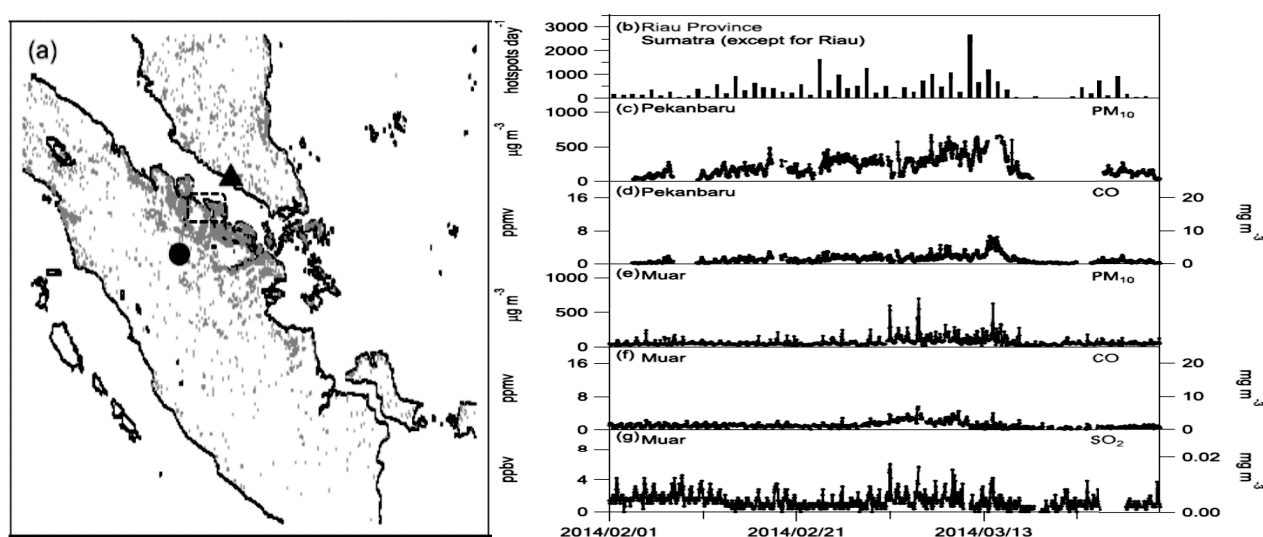


図1 2014年2-3月の(a)衛星画像を用いた火災検出分布(●プカンバル, ▲ムアル, 点線ブンカリス県), (b)日別火災検出数(灰色:リアウ州, 黒:リアウ州以外のスマトラ島), プカンバルでの(c)PM10と(d)CO濃度, ムアルでの(e)PM10と(f)COと(g)SO2濃度(Kuwata et al. 2018)

当地での泥炭地火災は、自然災害と人為災害の両方の側面を持つ。代表者が2014年4月にTL村で行った現地住民からの聞き取り調査から、2014年は乾期である2月に野焼きを行ったが、通常3月には降り始める雨期の開始が通常年より1ヶ月程度遅れたために火災が広がった可能性が高い。しかもリアウ州の他の地域では裸地や疎林が最も火災リスクが高い土地であることが指摘されていたが、TL村では焼失面積の約半分(48.4%)が産業造林企業によって管理されているアカシア林であった。企業の産業造林地と住民の土地の境界付近で火災が発生し、北からの季節風によって南側に燃え広がった様子を衛星解析から分析した。これらの解析データを元に、ブンカリス県の防災局や地域の消防団(Masyarakat Peduli Api: MPA)と議論し、今後活かす活動を行っている。

泥炭地は広域に分布しており、道路も少ないためにアクセスが難しい。特に火災発生時には地中に潜る泥

炭火災を目視で見つけることは困難であり、消火活動の障害となっている。そこで2018年からは無人航空機ドローンを用いた熱帯泥炭地管理の可能性を模索している。2019年9月にはリアウ州のプララワン県で起きた泥炭火災の検知を試みた。地中に潜る泥炭火災を目視で見つけることは困難であり、完全な消火をすることの障害となっている。そこで赤外線カメラを搭載したドローンを用いて、火災現場を空撮した画像を基に火災の位置を可視化した火災分布図を作成した。可視化した火災図は、目に見えない火災の位置を特定できるため、住民にとって有用な情報の提供を行っている(Kameoka et al. 2020)。

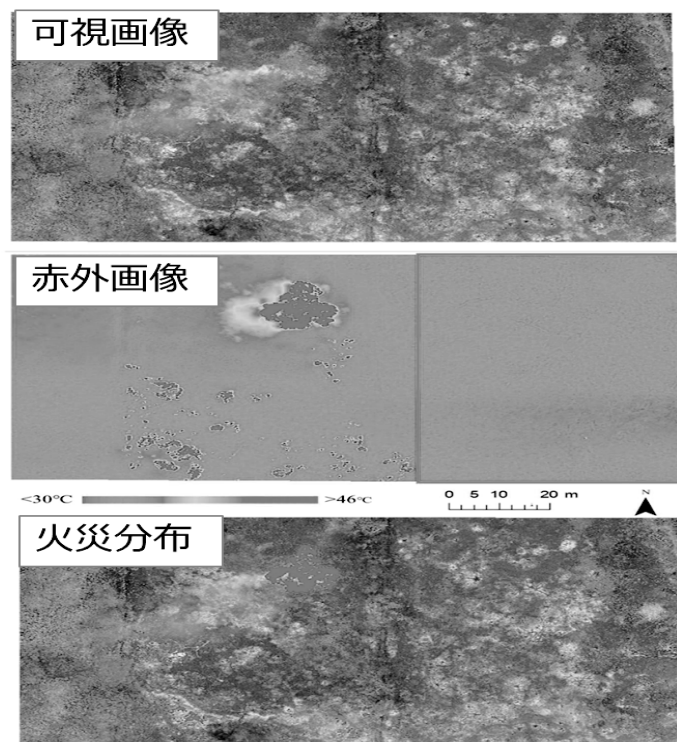


図2 ドローンで撮影した火災現場の (a) 可視画像, (b) 赤外画像, (c) 火災分布の図
(bの枠内は火災無しエリア, 2019年9月13日撮影)

5. 気象レーダーの設置

本研究では、小型気象レーダーをリアウ州ブンカリス県に導入し、周辺域の雨量分布を推定するとともに泥炭地火災時の活用の可能性について検討する。消防団および住民は衛星画像から特定された火災発生点についてスマホを通じて確認し、通常はバイクで火災発生点に向かう。泥炭火災の監視の方法としては、場所を問わず煙霧を観測できる衛星画像の情報は国や住民も含めて関心が高い。いち早く消火活動を開始するために重要なデータ更新の頻度は、衛星画像は半日毎であるのに対して、本研究で導入する小型気象レーダーは2分と短いことから準リアルタイムでの情報取得が可能である。また、空間解像度は衛星画像で1~2 km程度であるのに対して、小型気象レーダーで50~100mである。



図3 ブンカリス県に設置した古野電気製のXバンド二重偏波ドップラ気象レーダー (2020年2月15日)

設置した気象レーダーを用いて、雨域分布の解析と雨量推定の解析を行っている．図4はレーダーで捉えた2020年3月5日の降雨イベントである．この地域に特有な真夜中から明け方にかけて発達する雨雲の動きを解析するとともに、現地に設置した雨量計との比較を行っている．

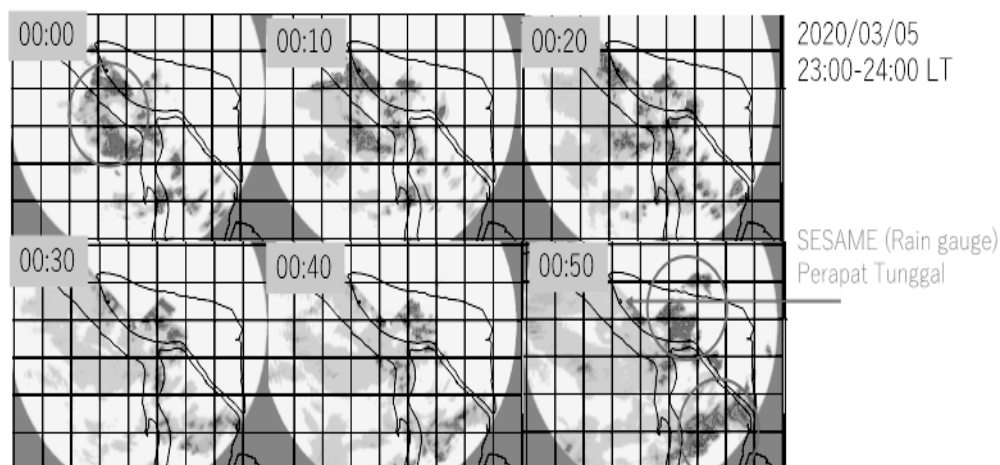


図4 気象レーダーで捉えた降雨イベント（2020年3月5日）

現在のインドネシア気象庁（BMKG）が管理しているパラカラヤCバンド（波長約5 cm）気象レーダー観測では、2015年の火災およびヘイズ発生時に上空2～3km以下でエコー（反射強度）が存在していた（Rahman, 2021）．小型気象レーダーはXバンド（波長約3cm）であり、煙霧からのより詳細な情報が期待できる．散乱の種類については、雨、雪などの大きな粒子に電波を発射し、粒子の散乱強度を測定する直接散乱だけではなく、ここでは大気屈折率変動による間接的なブラック散乱についても解析を進めている．

5. まとめ

インドネシアの泥炭地では開発が急激に進みつつあるが、防災や管理のためのインフラ整備は不十分である．今後はインドネシアおよび日本で開発された解析手法を用いて、水文・気象情報管理システムを構築し、現地への社会貢献を行っていきたい．

参考文献

- 1) Kuwata M., G. G. N.-Naganathan, T. Mitakawa, M. F. Khan, O. Kozan, M. Kawasaki, S. Sumin, M. T. Latif, 2018: Constraining the Emission of Particulate Matter from Indonesian Peatland Burning Using Continuous Observation Data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123(17) 9
- 2) Kameoka T., O. Kozan, S. Hadi, Asnawi, Hasrullah, 2020: Mapping Peatland Fires Using a Drone Equipped with a Thermal Camera *Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing* 59(5) 214 - 220
- 3) Rahman MA, DS Nugroho, MD Yamanaka, M Kawasaki, O Kozan, M Ohashi, H Hashiguchi, S Mori, 2021: Weather radar detection of planetary boundary layer and smoke layer top of peatland fire in Central Kalimantan, Indonesia, *Scientific reports* 11 (1), 1-9

アジアの宗教伝統と持続可能性:歴史的遺産と法律的課題

Religious Traditions and Sustainability in Asia: Historical Legacies and Legal Issues

マッテオ ミエーレ

Matteo MIELE

京都大学 東南アジア地域研究研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

The research focuses on the impact of religious traditions on legislation and political paths relating to environmental sustainability in Asian countries. Attention is given to the Zoroastrian tradition in India (Parsi communities, in particular in Bombay) and Iran, the model of sustainable development of Bhutan, the role of Catholicism and Catholic Church in South and Southeast Asia.

Key Words : *religious traditions, law, South Asia, Southeast Asia*

Beyond the secularization processes that accompany economic and technological development, the religious dimension remains a central element of community and social organizations. In particular, religions are able to influence not only traditional forms of organization, but also the political and legal systems of different states. The impact of religious traditions can be more or less evident. It can emerge as a lightly or heavily marked influence on electoral and then legislative processes or represent the fundamental background of an institutional system, to the point of being confused with the institutions themselves.

This research project therefore aims to focus on the historical-political analysis of the impact of religious traditions in Asia on legislation and political choices relating to environmental sustainability.¹ In this context, I will try to isolate the different environmental laws and rules of some particular countries, states and cities in order to define the weight of the religious and traditional dimension on the different regulations. The work will be articulated on the study, through the comparative and historical method, of the legal texts of the areas in question. In the first place, the study will have to address the constitutional laws on sustainability and environment. In this context the historical conditions that accompanied the constitutional process will be analyzed.

Particular attention is given to the following cases:

INDIA (PARSI COMMUNITIES) and IRAN – The Parsi communities of India represent, together with the communities of Iran, the main social legacy of the Zoroastrian teachings. Zoroastrianism is a religious system originating in central-western Asia that since its origins has paid major attention to the environment and progress.² Zoroastrianism, although today represented by a few communities scattered mainly in southern and western Asia, has decisively influenced the other great religious traditions of Asia over the centuries. Since the nineteenth century, the Bombay community has represented the cornerstone of city development within the British Empire and still today represents a hotbed of cultural (artists, writers, university professors), political and professional (doctors, lawyers, justices) elites. In this context, the research will seek to focus on the role of the Zoroastrian community in urban space and in local law as the spur of a sustainable development plan. In a comparative key with the previous issue, I will analyze the role of the Zoroastrian community of Iran which is, unlike that of India, placed on the sidelines of decision-making processes, in particular after the 1979 revolution and the establishment of the Islamic regime. The influence of the Zoroastrian tradition has however

¹ On the relationship between religions and sustainability see: Filho, W. L., Dahms, L. M. and Consorte-McCrea, A.: Sustainability and Religion: Past Trends and Future Perspectives, in: Filho W. L. and Consorte-McCrea, A. (eds.), *Sustainability and the Humanities*, Cham, pp. 611-619, 2019; Johnston, L.: The Religious Dimensions of Sustainability: Institutional Religions, Civil Society, and International Politics since the Turn of the Twentieth Century, *Religion Compass*, 4, 3, pp. 176-189, 2010; Koehrsen, J.: Does religion promote environmental sustainability? – Exploring the role of religion in local energy transitions, *Social Compass*, 62, 3, pp. 296-310, 2015.

² On Zoroastrianism see, inter alia, Dhalla, M. D., *History of Zoroastrianism*, New York, 1938.

also influenced the Islamic tradition and in particular the Iranian one which was then a vehicle for the spread of Islam in Central, South and Southeast Asia. For this reason, I will try to isolate, in the analysis, the political and economic interventions related to sustainable development that may have been influenced by Zoroastrianism and then by the Islamic tradition in contemporary Iran.³

BHUTAN – The small Himalayan state of Bhutan was created in the seventeenth century and then transformed into a monarchy in 1907. It has started a process of redefinition of development processes and, in particular, their measurement since the accession to the throne of the fourth king in the 1970s. Over the years, the Gross National Happiness⁴ index has proposed a strong attention to the compatibility between economic development and environmental sustainability. The model proposed by the Kingdom of Bhutan is today at the center of numerous studies involving economists, political scientists, psychologists, sociologists and anthropologists. It is above all the result of an attempt to combine development models with the cornerstones of the Bhutanese cultural tradition which is the direct heir of the Tibetan one. In a comparative key, the political and legal choices made in the neighboring Indian state of Sikkim will also be analyzed.

CATHOLICISM IN ASIA – The Catholic world has witnessed a greater awareness of political and institutional phenomena relating to the environment and sustainability, in particular since the pontificate of Pope Francis. Indeed, Pope Bergoglio dedicated his second encyclical, *Laudato si'* (2015), to these themes. The research will therefore attempt to analyze the transposition, within the different legal structures, of the influence of *Laudato si'* in the Christian countries of Asia, and in particular the countries with a Catholic majority (Philippines, Timor Leste). Attention will also be paid to the legislation of the former Portuguese colony of Macao and the Indian state of Goa.

The study of the environmental legislation of the aforementioned countries, states and cities will outline their differences and similarities. The comparative analysis will thus attempt to highlight some specific characteristics of the many transition programs to sustainable development and thus propose paths that are consistent with the traditions of these specific communities.

Current status: The research is proceeding with the reading of primary sources (religious texts, laws etc.) and secondary sources. Currently, the work is focused in particular on the study of Zoroastrian texts and with the analysis of a case study from Bombay.

³ See: Hejazi, M. O. and B. Sarbakhshian: The symbols of environmental sustainability in Iranian religious beliefs by emphasizing on Zoroastrianism and Islam, *Revista Innovaciencia*, 7, 2, pp. 1-11, 2019.

⁴ On Gross National Happiness see, inter alia: Schroeder, K.: *Politics of Gross National Happiness: Governance and Development in Bhutan*, Cham, 2018; Tideman, S. G.: Gross National Happiness: Lessons for Sustainability Leadership, *South Asian Journal of Global Business Research*, 5, 2, pp. 190-213, 2016.

インドネシアでの薬物依存症に対する遠隔認知行動療法の実施可能性 Feasibility of tele-delivered cognitive behavioral therapy for substance use disorders

山田 千佳¹, 坂本 龍太¹, Kristiana Siste², Enjeline Hanafi²,
Youdiil Ophinni³, 篠崎 智大⁴, 松本 俊彦⁵

Chika Yamada¹, Ryota Sakamoto¹, Kristiana Siste², Enjeline Hanafi²,
Youdiil Ophinni³, Tomohiro Shinozaki⁴, Toshihiko Matsumoto⁵

1 京都大学 東南アジア地域研究研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

2 インドネシア大学 医学部

Faculty of Medicine, Universitas Indonesia

3 ハーバード大学 医学大学院

Harvard Medical School

4 東京理科大学 工学部

Faculty of Engineering, Tokyo University of Science

5 国立精神神経医療研究センター 薬物依存研究部

Department of Drug Dependence Research, National Center of Neurology and Psychiatry

Substance use disorder (SUD) is a major problem in Indonesia due to the large treatment gap. To improve coverage and sustainability of SUD treatment, we developed a novel cognitive behavioral therapy (CBT)-based module termed Indo-DARPP, delivered via telemedicine. A pilot study was done to explore acceptability and usability of tele-Indo-DARPP. Five participants were recruited; all were male, median age 38.6, and most used benzodiazepines. 80% (4/5) of participants finished the 3-months treatment. Participants reported positive acceptability and usability, and 75% (3/4) preferred telemedicine rather than in person therapy. Overall, tele-Indo-DARPP has potential to improve treatment sustainability, reduce the treatment gap, and prolong the life expectancy of people with SUD in Indonesia.

Key Words : *substance use disorder, telemedicine, cognitive behavioural therapy, relapse prevention, motivational interviewing, low- and middle- income country*

1. Introduction

The number of people with substance use disorder (SUD) worldwide reached 35 million in 2018, including 650,000 deaths (a 65% increase in 15 years) (1). The disease burden is severe - premature deaths, defined as death before reaching the life expectancy by age, account for the majority of these deaths. In Indonesia, the third most populous low- and middle-income country (LMIC), people with SUD account for 1.8% of the population (3.3 million), of which 27% of them regularly use (2). There is generally no effective pharmacotherapy to relieve addiction to these substances, and thus, psychotherapy is the main treatment. In Indonesia, however, psychotherapy programs for SUD are not yet established, and their development and dissemination remain an important policy issue.

Cognitive Behavioral Therapy (CBT) is one psychotherapeutic modality that has been proven to be effective in helping people with SUD to reach abstinence and ameliorate the severity of their addiction (3,4). CBT works by helping people to analyze triggers and acquire coping skills in high-risk situations. However, to introduce CBT to Indonesia, accessibility issues need to be considered. There are only 48 psychiatric hospitals among the 260 million population, unevenly distributed with poor decentralization into the peripheral areas (5). There is also a serious shortage of medical personnel. For every 1.4 million drug addicts in Indonesia, there are less than 800 psychiatrists (6). In fact, in many LMICs including Indonesia, only 1% of drug addicts have access to treatment (7).

Unless the content of the program is accessible to patients living in rural areas, and can be provided by non-psychiatrist or even non-health professionals, the sustainability or longevity of any 'imported' treatment program is expected to be poor. Thus, we developed the Indonesia Drug Addiction Relapse Prevention Program (Indo-DARPP) as a CBT-based treatment module for SUD which is adapted into the

Indonesian context. The main feature of the Indo-DARPP is that it uses a workbook and can be delivered by non-mental health professionals.

Telemedicine has the potential to further elevate SUD treatment coverage in Indonesia. Internet communication overcomes the geographical barriers of Indonesian archipelago, and saves time as well as transportation cost for both patients and providers, either in remote areas where health services are thinly spread (8), or major cities with heavy traffic such as Jakarta (9). Privacy is more ensured; visiting clinics may disclose SUD diagnosis, which is one of the most stigmatised health conditions (10). The program can be continued safely under a pandemic as well.

2. Study objectives

This study consists of a pilot study and a main study. The objective of the pilot study was to explore the acceptability and usability of the newly developed online provision of Indo-DARPP, and to refine it as needed to complete the program with high feasibility of implementation. The objective of the main study is to examine the feasibility and efficiency of tele-Indo-DARPP compared to treatment-as-usual using a randomized controlled trial (RCT), with a nationwide recruitment. The current report pertains to the pilot study; the main RCT is now in recruitment period.

3. Pilot study

(1) Methods

a) Study participants

The setting for the pilot study was Cipto Hospital, a university hospital and the largest referral hospital in Indonesia. Recruitment was done in a convenience sampling from the outpatient psychiatric clinic. The inclusion criteria were those who met all five of these: 1) age 18-65 years old, 2) diagnosed with drug or alcohol use disorders in the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5 (DSM-5), 3) have used the primary drug at least once in the past year, 4) have a device capable of video call with Internet access, and 5) proficient in Indonesian. Exclusion criteria were those who: 1) have a severe physical or mental disability that hinders informed consent or data collection, or 2) use inpatient or residential services.

b) Intervention design

Study participants received tele-Indo-DARPP in addition to treatment-as-usual (TAU) in outpatient care. The structure and content of the tele-Indo-DARPP were developed through focus group discussions with Indonesia-based researchers, psychiatrists, general physicians, and importantly, peer counsellors who themselves recovered from SUD. The structure of the tele-Indo-DARPP intervention was weekly CBT in a group (maximum 5 people) for a total of 12 sessions or 3 months, ~2 hours per session, through online video conference via the application Zoom. The providers were one psychiatrist from the Department of Psychiatry, University of Indonesia and one peer counselor from a non-profit non-government organization (NGO) dealing with addiction.

Each session consisted of three parts: "check-in," "today's topic," and "check-out." In "check-in," each participant used a calendar to review past week's drug use and craving situations. "Today's topic" will be Indo-DARPP chapter discussion and group sharing of related experiences. The workbook content is based on the core concept of "relapse prevention" (RP) of CBT. In other words, the main session aim is to identify safe situations as well as triggers to substance use, discuss prevalent thoughts that follow the trigger encounters, and block the thought before it leads to craving and the negative spiral toward relapse. The workbook includes elements of "motivational interviewing" (MI) to help patients resolve their ambivalence about substance use, and "psychoeducation" about physical and mental comorbidities that are frequent in SUD. In the "check-out" session, the participants discuss their potential triggers in the next week and how to handle them.

The TAU for SUD in Indonesia includes brief (~15 minutes) consultations with a psychiatrist followed by symptomatic medication (e.g., anxiolytics, antidepressants), individual peer counseling, and opioid substitution therapy (e.g., methadone) for heroin dependence.

c) Data collection

Prior to the intervention, a structured interview was conducted to assess participant characteristics. Semi-structured interviews were conducted after the end of treatment to ask about the acceptability and usability of the tele-Indo-DARPP, and audio recordings were made with the participants' permission.

d) Data analysis

Descriptive statistics were calculated for participants' characteristics. The interview recordings were transcribed verbatim, translated into English, and then subjected to thematic analysis to identify positive/negative aspects of acceptability and usability.

e) Ethical considerations

Potential participants were informed of the purpose of the study, the methods, the burdens and expected risks/benefits of participation, the voluntary nature of consent, and that consent could be withdrawn at any time. Participation is only acknowledged if informed consent was obtained. All study participants were asked to sign a pledge regarding group therapy participation, such as to keep discussion civilized and not to share any information about other participants to any third party. This study protocol was approved by the Ethics Review Committees of the Faculty of Medicine, Universitas Indonesia, and the Graduate School of Medicine, Kyoto University.

(2) Results

a) Study participants

Five patients participated in the study, characteristics of whom were shown in **Table 1**.

Table 1. Participant characteristics (n =5)

Male gender, n (%)	5	100
Age in years, M (SD)	38.6	5.0
Household size in persons, M (SD)	4	0.7
Jawa ethnicity, n (%)	3	60
Islam religion, n (%)	4	80
Education highschool or lower, n (%)	5	100
Never married, n (%)	4	80
Employed, n (%)	3	60
Individual income in USD, past month, M (SD)	136.7	125.4
SUD treatment service		
Duration since first use in years, M (SD)	3.2	2.5
Transportation time in mins, M (SD)	67.5	36.6
Transportation cost in USD, M (SD)	2.3	1.4
Involuntary, n (%)	1	20
Primarily used substance, n (%)		
Benzodiazepine	3	60
Heroin	2	40

b) Treatment completion

At the end of the 3-months intervention, 80% (4/5) of the participants finished the whole treatment duration. The reason for the one patient dropping out was related to violation of group rule; he used abusive language toward the providers to obtain money. Collective attendance in the tele-Indo-DARPP group was 93.3% (56 out of 60 sessions).

c) Interview results

We collected qualitative data on the acceptability and usability of the tele-Indo-DARPP program from the feedback of 4 participants who have finished treatment. Participants reported positive acceptability in terms of being able to open up on their personal matters, receive helpful counsellor's advice, learn new things, feel support from other participants, and broaden their view by listening and sharing to other participants in various stages of recovery from SUD. On the other hand, participants complained of the Indo-DARPP contents, where the terminologies used were not close enough to the reality in the streets, and medical information was not accessible enough. Examples of interview data are provided in **Table 2**.

In terms of usability, the participants felt the benefit of convenience by joining from home, no wasted time or cost for transportation, and felt good pacing between sessions. However, participants sometimes felt frustrated with technical issues and wanted more time to share their story. In the end, 75% (3 out of 4) participants expressed their preference for online telemedicine, compared to face-to-face meeting.

Table 2. Themes and example interview raw data on acceptability and usability of tele-Indo-DARPP

Acceptability

Positive

Able to open up personal matters

'Talking about my meth use reminded me of all the things, like my ex-girlfriend and my old friends who died of AIDS. I had never talked about it with anyone before. I never thought of sharing it because nobody would understand me anyway. But in the program, others also shared similar things and I felt like accepted.'

Counsellor's advice was impressive

'I learnt the meaning of one day at a time from him [Counsellor]. Even if I used drugs yesterday, it's important to start another new day there and try to live better at least on that day. Repeat and build on it. That sort of thinking helps a lot.'

Learned new things from texts

'Making schedule was new to me. Keeping myself busy can distract me from things I want to forget.'

Felt others supporting me

'I thought no one would care about me, but that's not true when I was in the program. I could complete the program because everyone, I mean other patients too, supported me.'

Broaden view by listening to other participants' experience in various recovery stages

'It was very interesting to hear the various viewpoints from the others here, some of whom have already battled addiction for 20 years. I am eager to join future sessions so I can hear more and more stories from anyone among different stages in their path to recovery, including new patients, whom I can help by teaching my own experiences as well.'

Negative

Terminologies used in the workbook not close enough to reality

'Sometimes the workbook content felt a bit distant from the reality in the streets. I hope there can be content revision to make us feel more familiar, such as adding brand names for prescription drugs, and street names for illicit drugs.'

Explanation on medical and statistical information are not accessible enough

'Sometimes I couldn't really understand the medical explanation or study graphs, and tend to just skim them.'

Usability

Positive

Convenient to join from home

'I really like that I could join it from home, even right after taking a nap. Going to the hospital is such a hassle.'

No wasted time/cost for transportation

'If I go to the hospital, it takes up my half-day because of the terrible traffic jam and I need to take off from my job.'

Good pacing between sessions

'One session per week was the best frequency for me. I could remember what we learnt in the last session.'

Negative

Frustrated with technical issues

'I could not use my video sometimes, which was so frustrating. I couldn't keep up with the discussion because of the technical problems, and then I lost the motivation I had before.'

Wanted more time to share

'I wanted more time to share. Because it's a group session, time for each of us is more limited compared to one on one session.'

(3) Discussion

Nine RCTs from LMICs have reported the effectiveness of digital delivery of interventions for SUD. However, utilized formats were telephone calls (11–14), webpage (15–17), and mobile application (18,19), and no study in LMICs has so far investigated the feasibility and effectiveness of video-conference-based psychotherapy. The latter may facilitate honest and interactive discussion on personal substance use and cravings, founded on better rapport between providers and patients (20), which is integral for CBT for SUD. One meta-analysis concluded that web-based mental health interventions had better retention rate and treatment outcomes when therapists were synchronously involved (21).

Our interview data showed that, in general, tele-Indo-DARPP had good acceptability and usability. Specifically, patients were able to disclose private issues during tele-Indo-DARPP sessions to the extent where they shared about illegal behaviors and bereavement of close persons. Previous studies showed that psychotherapies via online technologies faced challenges in building rapport between clients and therapists, compared to when being provided in-person (22). Our success in building a safe and private environment of tele-Indo-DARPP may have been owing to involvement of peer-counsellors, and establishment of common understanding of the group rule of not disclosing any information discussed in sessions. Further, tele-Indo-DARPP was perceived as time-efficient by the participants of our pilot study who were living in Jakarta, where traffic is heavily congested. Indeed, tele-Indo-DARPP could save over two hours of roundtrip transportation time to visit an outpatient clinic.

Nevertheless, our results revealed some negative points which we need to address. For example, the participants reported that they were not familiar with some terminologies, especially substance names, used in the workbook. Also, some participants had difficulties in comprehending medical and statistical information. Although the workbook contents were carefully developed to increase understandability, further considerations (i.e. inserting street names of substances, adding pictures and easy-to-understand explanation) are necessary, given the relatively low educational backgrounds of SUD patients. Further, patients felt frustrated when having technical issues related to unstable internet connection or smartphone devices. This is another obstacle for a widespread implementation of telemedicine, even though the use of the internet is rapidly expanding in Indonesia, and smartphone use is estimated to increase from 74% in 2019 to as high as 89% by 2025.

4. Conclusion

Efforts to establish evidence-based treatment for SUD should be scaled up in Indonesia and LMICs in

general, where effectiveness data is sparse. Successful implementation of Indo-DARPP, with the help of telemedicine, may lead to a better and sustainable treatment coverage across the country. Hopefully, this in turn will lead to a prevention of premature deaths due to SUD, and prolong the life expectancy of people with SUD in Indonesia. We further hope that our effort may further promote a comprehensive, health care-centric approach—as opposed to repressive anti-drug policies—to tackle the substance use epidemic in the country.

References

1. Peacock A, Leung J, Larney S, Colledge S, Hickman M, Rehm J, et al. Global statistics on alcohol, tobacco and illicit drug use: 2017 status report. *Addiction*. 2018;113(10):1905–26.
2. Puslitdatin Badan Narkotika Nasional. Indonesia drugs report 2019. Jakarta: Badan Narkotika Nasional; 2019 Aug.
3. Magill M, Ray LA. Cognitive-behavioral treatment with adult alcohol and illicit drug users: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Stud Alcohol Drugs*. 2009 Jul;70(4):516–27.
4. McHugh RK, Hearon BA, Otto MW. Cognitive behavioral therapy for substance use disorders. *Psychiatr Clin North Am*. 2010 Sep;33(3):511–25.
5. Marastuti A, Subandi MA, Retnowati S, Marchira CR, Yuen CM, Good BJ, et al. Development and evaluation of a mental health training program for community health workers in indonesia. *Community Ment Health J*. 2020 Oct;56(7):1248–54.
6. Idaiani S, Riyadi EI. Sistem kesehatan jiwa di indonesia: tantangan untuk memenuhi kebutuhan [Indonesian mental health system: the challenge to fulfill needs]. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pelayanan Kesehatan*. 2018 Aug 22;70–80.
7. Degenhardt L, Glantz M, Evans-Lacko S, Sadikova E, Sampson N, Thornicroft G, et al. Estimating treatment coverage for people with substance use disorders: an analysis of data from the World Mental Health Surveys. *World Psychiatry*. 2017;16(3):299–307.
8. Pols H. The future of mental health care in Indonesia [Internet]. Inside Indonesia. 2020 [cited 2021 Jan 10]. Available from: <https://www.insideindonesia.org/the-future-of-mental-health-care-in-indonesia>
9. Rahman DF. Traffic jam: Jakarta roads remain one of world's most congested [Internet]. The Jakarta Post. 2020 [cited 2021 Jan 10]. Available from: <https://www.thejakartapost.com/news/2020/02/06/traffic-jam-jakarta-roads-remain-one-of-worlds-most-congested.html>
10. Mannarini S, Boffo M. Anxiety, bulimia, drug and alcohol addiction, depression, and schizophrenia: what do you think about their aetiology, dangerousness, social distance, and treatment? A latent class analysis approach. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*. 2015 Jan;50(1):27–37.
11. Fernandes S, Ferigolo M, Benchaya MC, Moreira T de C, Pierozan PS, Mazoni CG, et al. Brief Motivational Intervention and telemedicine: a new perspective of treatment to marijuana users. *Addict Behav*. 2010 Aug;35(8):750–5.
12. Wongpakaran T, Petcharaj K, Wongpakaran N, Sombatmai S, Boripuntakul T, Intarakamhaeng D, et al. The effect of telephone-based intervention (TBI) in alcohol abusers: a pilot study. *J Med Assoc Thai*. 2011 Jul;94(7):849–56.
13. Signor L, Pierozan PS, Ferigolo M, Fernandes S, Moreira TC de, Mazoni CG, et al. Efficacy of the telephone-based Brief Motivational Intervention for alcohol problems in Brazil. *Braz J Psychiatry*. 2013 Jul;35(3):254–61.
14. Marasinghe RB, Edirippulige S, Kavanagh D, Smith A, Jiffry MTM. Effect of mobile phone-based psychotherapy in suicide prevention: a randomized controlled trial in Sri Lanka. *J Telemed Telecare*. 2012 Apr;18(3):151–5.
15. Christoff A de O, Boerngen-Lacerda R. Reducing substance involvement in college students: a three-arm parallel-group randomized controlled trial of a computer-based intervention. *Addict Behav*. 2015 Jun;45:164–71.
16. Baldin YC, Sanudo A, Sanchez ZM. Effectiveness of a web-based intervention in reducing binge drinking among nightclub patrons. *Rev Saude Publica*. 2018 Jan 18;52:2.
17. Tiburcio M, Lara MA, Martínez N, Fernández M, Aguilar A. Web-based intervention to reduce substance abuse and depression: a three arm randomized trial in Mexico. *Subst Use Misuse*. 2018 Nov 10;53(13):2220–31.
18. Liang D, Han H, Du J, Zhao M, Hser Y-I. A pilot study of a smartphone application supporting recovery from drug addiction. *J Subst Abuse Treat*. 2018 May;88:51–8.
19. Zhu Y, Jiang H, Su H, Zhong N, Li R, Li X, et al. A newly designed mobile-based computerized cognitive addiction therapy app for the improvement of cognition impairments and risk decision making in methamphetamine use disorder: randomized controlled trial. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2018 Jun 20;6(6):e10292.
20. Rush KL, Howlett L, Munro A, Burton L. Videoconference compared to telephone in healthcare delivery: A systematic review. *Int J Med Inform*. 2018 Oct;118:44–53.
21. Spek V, Cuijpers P, Nyklíček I, Riper H, Keyzer J, Pop V. Internet-based cognitive behaviour therapy for symptoms of depression and anxiety: a meta-analysis. *Psychol Med*. 2007 Mar;37(3):319–28.
22. Backhaus A, Agha Z, Maglione ML, Repp A, Ross B, Zuest D, et al. Videoconferencing psychotherapy: a systematic review. *Psychol Serv*. 2012 May;9(2):111–31.

石炭投資撤退運動・ESG投資の金融・産業の行動変容と 気候変動業績の変化

Coal Divestment, ESG investments and Behavioral Changes in Financial Institutions
and Industries

森 晶寿¹, 清水 延彦²

Akihisa MORI 1, Nobuhiko SHIMIZU 2

¹京都大学 地球環境学堂

Graduate School of Global Environment Studies, Kyoto University

²京都大学 経済研究所

Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University

This research aims to explore how coal divestment movements and ESG investments trigger behavioral changes of financial institutions and industries, and to identify drives and enabling factor that makes them happen. Findings are summarized as follows; (1) some Japanese financial institutions and trading companies began to take a collaborative business model in which they work together with customers to change their business model toward a low carbon one; and (2) an increasing number of manufacturers face difficulties in obtaining finance for investments unless they take climate measures.

Key Words : coal divestment; ESG; behavioral changes; financial institutions; industry

1. はじめに

本ユニットでは、前身のグローバル生存基盤ユニット時から継続して、ソルガムのバイオエネルギー利用の実装、効率性を向上させる技術開発、炭化による炭素削減技術の開発等、気候変動1.5C目標と現地の生計改善を両立させることを目的とした研究プロジェクトを実施している。これらの技術開発によって生み出されるバイオエネルギーは、炭素価格政策が導入され化石燃料の価格が上昇すれば、市場競争力が向上するため、経済的自立性をもつかもしい。ところが、現在のアジアの多くの国でのエネルギーシステムは、低価格の化石燃料、特に石炭を原料に用いることを前提としている。このため、これらの技術は補助金なしでは経済的自立性を持ちえない。また、化石燃料補助金の撤廃や炭素価格政策の導入も政治的な反対から容易ではない。しかもインドネシアでは自国のプランテーション栽培で得られたヤシ油を原料とするバイオ燃料が豊富に存在する。このため、炭素価格政策の導入に成功しバイオエネルギーの普及が促進されたとしても、ヤシ油への転換を促し、油やし農園の拡大を招き、却って森林由来の炭素排出を増やし、生物多様性や生計の損失も加速するだけで、ソルガムのバイオエネルギー利用を促すとは限らない。

そこで重要となるのが、産業や産業構造に直接影響を与えるのではなく、資金供給の流れを化石燃料や環境悪化型の産業やビジネスから再生可能エネルギーや環境配慮型の産業やビジネスに変えることである。後者の産業やビジネスが成長し、経済全体の資源配分が後者に傾斜されるようになれば、気候変動1.5C目標に向けての転換を進めつつ経済成長を維持することが可能になる。しかも、国連気候変動枠組み条約パリ協定の合意や、持続可能な発展目標(SDGs)の国連での採択を契機に、欧米を中心に石炭投資撤退運動とESG投資が加速的に大きくなっている。特に2020年は、中国・日本・EU等が2050-60年の炭素中立(カーボンニュートラル)目標を打ち出したことで、金融機関や商社、重電メーカー等の気候変動対応を変化させつつある。

このことを背景に、本研究は、石炭投資撤退運動とESG投資が金融機関の投融资活動や産業界の資金調達を通じて投資行動に及ぼしている影響を解明し、何がどの程度行動変容に影響を及ぼしたのかを解明することを目的とする。

2. 研究方法

2020年度は、COVID-19の影響で現地調査が制約されつつも、日本の金融機関や商社、製造業が新たな投

資やビジネスモデルの採用に踏み切る事例が散見されたことから、石炭投資撤退運動と ESG 投資の国際的動向と初期の行動変容に関する文献レビューと行動変容の文献調査をランダムに行った。並行して、同一業界に属する企業の異なる対応が、業界団体の交渉力や持続可能な発展への移行に及ぼす影響を、中国の発電事業者の事例から検討した。

3. 得られた知見

研究の結果、下記3点の知見を得ることができた。

第1に、日本の金融機関や商社の中に、気候変動対策の有無や進展による顧客や取引先の選別だけでなく、その低炭素ビジネスモデルへの転換を伴走者として一緒に進めるビジネスモデルを採用するものが散見されるようになってきた。

第2に、製造業でも、気候変動対策に消極的な企業は資金調達が困難になる状況が増えつつある。

第3に、現段階では個別企業の対応の相違は業界内で利害の不一致を生じるほど大きなわけではない。このため、業界の最大公約数的な既得利益を侵食する政策や制度の導入を阻止するだけの、政治的・経済的資源を業界団体として持ち続けている。

参考文献

- 1) 佐々木栄, 2021. 都市封鎖も止まらぬ温暖化, 読売新聞 (2021 年 2 月 19 日) 【取材協力】
- 2) Mori, A., 2021. A sustainability transition with heterogeneous behaviours of incumbent companies: Power generation in China, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, PII: S2210-4224(21)00012-5.

世代間衡平性の理論

A Theory of Intergenerational Equity

ブルーノ・ストルロヴィッチ 1, 原 千秋 2,

Bruno Strulovici 1 and Chiaki Hara 2

1 京都大学 経済研究所

Institute of Economic Research, Kyoto University

2 ノースウェスタン大学 経済学部

Department of Economics, Northwestern University

The purpose of this project is to develop a theory of intergenerational tradeoffs that is based on anticipation. Based on the model of anticipatory utility of Galperti and Strulovici (2017), we attempt to incorporate the expectation on the future health status as part of quality of life and quantify the magnitude of anticipation-based altruism, in order to develop a rigorous welfare analysis on health insurance plans and policies mitigating carbon emission.

Key Words : *Intergenerational equity, altruism, discounting, anticipation, quality-adjusted life year*

1. Introduction

Political decisions about sustainability involve tradeoffs between current and future generations: how much to invest in green technologies? How fast to cut emissions of greenhouse gases and the use of fossil fuels? How much to commit with other countries on particular plans?

To resolve these tradeoffs, governments need a framework to take into account future generations. Researchers often debate how to choose a discount factor, as emphasized by the Stern Review (Stern (2007)). However, there are more fundamental questions: What does it mean to “discount” future generations? Where does the welfare function with a discount function come from? Is it justified? This issue has become even more pressing because the society is aging fast in many developed countries and, at the same time, the population is exploding in many developing countries, leading to a greater conflict of interest at the global scale.

We develop a theory of intergenerational tradeoffs that is based on *anticipations*: today’s governments and citizens take into account future generations because they anticipate the well-being of these future generations, and they take into account that future generations will also care about the well-being of their descendants. We plan to develop a notion of quality of life that accommodates anticipation as part of well-being and quantify the magnitude of anticipation-driven altruism to conduct a rigorous welfare analysis.

2. Background: Galperti and Strulovici (2017)

Our project will be based on the theory of anticipatory utility initiated by Galperti and Strulovici (2017). The key point of their analysis is that everyone’s well-being, including the present generation’s, is affected by the future: we worry about climate change, demographic changes, risk of wars. These anticipations form an important part of our well-being. They found that welfare functions with standard discounting are *incompatible* with a coherent theory of well-being anticipations. The standard geometric discounting model is a knife-edge model that is convenient for computations but hard to justify conceptually (as Samuelson (1937) noted, which popularized the model). Instead, they found the following results:

- (i) Well-being anticipations lead to *present-bias*. However, far from being “short sighted,” this present bias arises as a rational consequence of anticipations. This result provides a novel interpretation of present bias.
- (ii) The discount factor between two generations is not a fixed quantity. Rather, it depends on the well-being of all generations. Thus, the idea that utility tradeoffs between two periods can be summarized by a single number is

rejected by our theory. There is empirical evidence that human beings discount future utility differently depending on their reference points, and our model provide a framework to formalize this.

(iii) They proposed a method to compare policies taking into account well-being anticipations. The method resembles the Bellman equation used in Optimal Control Theory. However, it involves two operators instead of one.

(iv) Conceptually, the paper proposed a new perspective to axiomatize intergenerational tradeoffs: our axioms are “positive” in nature, rather than “normative.” Their aim was to represent the intergenerational tradeoffs that citizens may make.

(v) Because discounting is endogenous, they identified new mechanisms for poverty traps, vicious cycles, and virtuous cycles: for some anticipatory utility functions, a lower anticipated well-being makes agent *less* patient, which can reduce the well-being of future generations. There is a multiplicity of intergenerational outcomes, which increases the importance of policy decisions made today to enter a virtuous cycle, rather than a vicious one.

3. Our project and future research

In this project, we plan to work on the following two topics based on the work of Galperti and Strulovici (2017).

The first one is concerned with QALY (quality-adjusted life year) and the role of anticipatory utility in measuring QALY. Take, for example, private health insurance plans in the United States. The elderly (65+) can access to Medicare Advantage at a subsidized rate. Medicare Advantage gives access to various health plans. Abaluck et. al. (2020) showed that health plan choice can have a very significant effect on mortality. They also estimated how much citizens should be willing to pay for the better plans if they fully understood these plans. They estimated that this willingness to pay should be about \$10,000 more for the better plans than for the worst ones. This set of evidence suggests that our research should include: (i) The role of health plans on QALY rather than life expectations, (ii) the exploration of the causes for choosing high mortality plans, (iii) models of the value of statistical life, and (iv) how public policy can help the elderly population make better choices of plans, eliminate high mortality health plans, and help insurance networks select health care providers associated with lower mortality outcomes.

In this context, anticipatory utility plays an important role in the quality of life. For instance, someone who expects to get good health for a number of years is in a better state of mind than someone who is not, even if both have the same current health level. This difference in expectation may be driven by the type health care system of this person. Someone who lives in a country with universal health care knows that he (or she) will be taken good care of if he (or she) gets sick. This augments this person’s current well-being. More generally, the quality of life should take anticipation into consideration as part of well-being, and the model of anticipatory utility will allow us to formalize this and develop a rigorous welfare analysis.

The second topic we plan to work on is to apply the anticipatory utility model to cost-benefit analysis and asset pricing. This task may well be arduous, as the pure rates of time discounting of anticipatory utility depend on the consumption level, from which it is difficult to derive the elasticity of intertemporal substitution, for example.

This task is rich in quantitative implications, and points to another task. While Galperti and Strulovici (2017) clarified how their model of anticipatory utility is different from the exponential discount model of Samuelson (1937) and the recursive utility model of Koopmans (1960), the extent to which an anticipatory utility function is different from these standard utility functions seems largely explored. We plan to do this by formalizing the notion that a decision maker is more altruistic (or anticipatory) than another decision maker. This task is important not only from the theoretical viewpoint but also for practical purposes, because a project or policy with long-lasting consequences may be regarded as desirable or not depending on the magnitude of altruism (or anticipation). In some applications, it will also be necessary to extend this notion to the case where the two decision makers under study may have different cardinal utility functions.

References

- 1) Abaluck, J., B. C. Bravo, P. Hull, and A. Starc: “Mortality Effects and Choice Across Private Health Insurance Plans,” Becker Friedman Institute for Economics at Chicago Working Paper No. 2020-108 (2020).
- 2) Galperti, S., and B. Strulovici: “A Theory of Intergenerational Altruism,” *Econometrica* 85, 1175–1218 (2017).
- 3) Koopmans, T. C.: “Stationary Ordinal Utility and Impatience,” *Econometrica* 28, 287–309.
- 4) Samuelson, P. A.: “A Note on Measurement of Utility,” *Review of Economic Studies* 4, 155–161 (1937).
- 5) Stern, N.: “The Stern Review: the Economics of Climate Change. http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm (2007).

電力パケットネットワークによるスマートエネルギーマネジメント

Smart Energy Management via Power Packet Network

中野 博樹¹, 岡部 寿男²

Hiroki Nakano ¹, Yasuo Okabe ²

¹京都大学 情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

²京都大学 学術情報メディアセンター

Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

In this research, we aim to integrate electric power and information using information and communication technology (ICT) to reform energy management, so as to contribute to the realization of a sustainable society. Specifically, we aim to digitize electric power transmission and make electric power networks smarter by combining the technology of best-effort transmission of electric power packets which integrate electric power and information by asynchronous store-and-forward and per-flow routing based on matching of supply and demand.

Key Words : power packet, smart energy management, routing, best effort, store-and-forward

1. はじめに

電力技術は電気工学の始まりに遡る基盤的技術である。それ故に19世紀からの技術インフラ投資の中で、新しい技術の導入の障壁となっている。特に、電力配電に関わる回路は、最後に残されたアナログ回路と言われて久しい。近年、この電力伝送を情報通信と統合することにより、よりきめの細かい電力伝送を可能とすることが検討されている。スマートグリッドの技術はその一つである。しかしながら、それらにおいては物理量である電力は従来のフローのままの仮想的システムであり、同時同量の呪縛から脱していない。

本研究では、情報通信技術(ICT)を用いて電力と情報を統合し、電力と情報を一体化した電力パケットを非同期のストア&フォワードによりベストエフォート型で伝送する技術と、需要と供給をマッチングさせ情報に基づいて伝送するルーティング技術を合わせて、電力伝送のデジタル化および電力ネットワークのスマート化を図ることでエネルギーマネジメントを改革し、持続的社会的実現に寄与することを目指している。

2. 関連研究

従来より柔軟で双方向性をもった電力配送を行うために、新たな電力配送技術が求められている。そこで、有限の情報量の情報と有限の量のエネルギーをひとまとめにして「パケット」として取り扱うことによって、電力配送の柔軟な制御を行うことが提案されて、一部実現されている。このようなパケットは「電力パケット」と呼ばれ、このアイデアを電力配送の制御に活用する研究がいくつも行われている。これらの研究は、1990年代初頭に斎藤ら¹⁾によって「Open Electric Energy Network (OEEN)」として提案されている。

これまで提案されている多くの技術は、電力配送自体は既存の技術を利用し、その上にオーバーレイされた情報ネットワークによって、仮想的に電力配送を制御する方式を採用している。この場合、機器の故障・

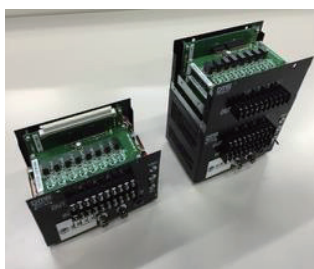


図1 電力パケットルータ

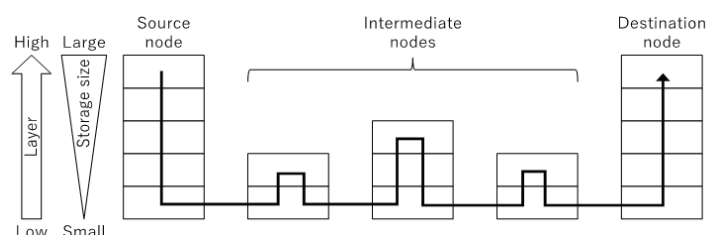


図2 ナローウエストモデルに基づくプロトコル階層

攻撃・故意などによる想定外の動作が電力ネットワーク全体に影響を及ぼす可能性が大きい。これを防ぐには、電力も含めたパケット化技術が必要となる。また、障害の局所性を高めるためには、中継機器で都度終端することが望ましく、中継機器を越えて電力が伝送する際にはストア・アンド・フォワード方式で転送することになる。Takuno ら²⁾は、直流による電力自体のパケット化を提案し実装している。Inoue ら³⁾は、パルス状の電力によるパケット化を提案している。

3. 電力パケットルータ

我々は、低 ON 抵抗、高耐圧、高速性と特徴とする SiC 半導体とキャパシタ、インダクタを組み合わせ、共振を利用した電力移送方式とその回路構成を提案している。さらに、提案方式を使って有限の電気エネルギーと有限の情報をもった電力パケットを作り出し、それを装置間で伝送することのできる装置「電力パケットルータ」(図 1) を設計し、その実装を行った⁴⁾。設計に際しては、家庭内の電力配送網を念頭におき、配送する電力量の目安を 500~1000W 程度と設定した。製作した電力パケットルータは、内部にキャパシタを持ち、一定量の電力を蓄積し、ストア・アンド・フォワード方式で転送する。

電力パケットの伝送においては、パケット毎に都度、伝送の開始と終了を行う必要があるが、提案方式では、回路のインダクタンスに流れる電流がほぼ 0 の時に伝送の終了を行うため、ロスの回避が容易で回路構成を単純化できる。

4. 電力パケットネットワークのプロトコル階層

導線で直接接続された機器間においては上述のパケット化された電力配送が行われる一方、電力パケットルータを越えて配送される電力については、関係する複数の計算機で実行されるアルゴリズムに基づいて行われる。通信の例に倣って、電力配送システムもプロトコルのリファレンスモデルを持つべきである。図 2 は、リファレンスモデルの中の情報と電力の流れを模式的に示す。より高位の層は、より大きなバッファを持っていると考えられる。この図において、各ノードの一番下でノード間の接続を担う層が、本研究の対象である。以下ではリンク層と呼ぶ。この層に関する知見は、より上位の層を検討する上での重要な情報となる。また、Ethernet がインターネットの普及に重要な役割を果たしたように、この層の成否が電力パケットネットワーク全体の将来の鍵となると考え、研究を進めている。

バス型に接続された電力パケットルータにおける双方向の伝送メディアアクセス制御プロトコルとして、通信における無線 LAN などに用いられている CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, 搬送波感知多重アクセス/衝突回避方式)と同様の考え方による自律分散型メディアアクセス制御を採用した。提案方式では、特別な調停機構を用いず各電力パケットルータが自律的にバスを監視し他の電力ルータが送信を行っていないければ RTS (Request To Send)の制御信号を送信する。受信側となる電力ルータは受信の準備ができていれば CTS (Clear To Send)の制御信号を送信する。バスの長さの最大長から定まる一定のガードタイムを経てこのやり取りが完了したことが確認できれば、その直後の電力パケットの送信が衝突なく安全に行えることが、CSMA/CA の理論を援用することで保証される。

一方、ルータを越えての電力伝送については、IP ネットワークにおける SDN (Software Defined Networking) の考え方を応用した集中型の品質(Quality of Energy)制御のプロトコルにおいて、電源(供給)、電力消費機器(需要)、そしてそれにより提供されるサービスを使うユーザがそれぞれの粒度で優先度を指定できる API (Application Programming Interface)を定義し、集中型制御を担うコントローラが優先度を考慮して品質保証型フローを割り当てるアルゴリズムとプロトコルを設計している。

5. おわりに

電力パケットによるベストエフォート型の電力フローを前提にすれば、需要に見合う電力供給が確保できない場合でも、大規模停電のような状況に陥ることなく、確保できた電力を必要なところを優先して配分することが可能となる。ただしそのためには電力消費機器が品質保証のない電力でも動作できるように設計されていることが前提であり、バッテリーなどの蓄電要素を備えつつ電力に応じたサービスを提供できる枠組みを検討している。

参考文献

- 1) 斎藤浩海, 宮森敏, 島田亘, 豊田淳一: 開放型電力ネットワークにおける自律分散的電力流通を実現する機構の基礎検討, 電気学会論文誌. B 117(1), pp.10-18, 1997.
- 2) T. Takuno, M. Koyama, T. Hikihara. : In-home Power distribution systems by circuit switching and power packet dispatching. In2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp. 427-430, Oct 2010.
- 3) J. Inoue, Y. Fujii : Proposal of an innovative electric power distribution system based on packet power transactions, IEEJ Transactions on Power and Energy, 131, pp.143-150, 2011.
- 4) 中野博樹, 岡部寿男: 電力パケットルータの設計と実装, 情報処理学会 マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, pp.1875-1880, 2017.



持続可能社会創造ユニット

〒611-0011

京都府宇治市五ヶ庄

京都大学 持続可能社会創造ユニット

TEL:0774-38-4936 FAX:0774-38-3369