

RURSS

Research Unit for Realization of Sustainable Society

令和3年度 研究成果報告書

Research Report FY2021

京都大学 研究連携基盤
持続可能社会創造ユニット
Kyoto University



持続可能社会創造ユニット 令和3年度 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 Disease Drug Candidates from Woody Biomass

PINCELLA 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

環境調和型有機フッ素コーティング剤のラマン分光法による簡易分析

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 for Environmental Restoration in Fukushima Prefecture

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 production	KHATTAB Sadat Mohamed Rezk	23
異なる温度条件下で急速熱分解を行った木質炭化物の表面形態観察 SEM Observation of Char Obtained by Fast Pyrolysis	畑 俊充	28
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: 研究のフレームワークおよび現状と今後の課題 Development of an assessment tool for hillslope hazards by heavy rainfall toward resilient local society: research framework, present status, and future tasks	松四 雄騎	30
蛇行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 meandering rivers	竹林 洋史	36
Climate Change Adaptations for Floods and Fire Risks in Humid Tropical River Basins	YAMAMOTO Eva	38
ベトナム・メコンデルタの農村社会の持続可能性に対する人為的および自然的要因の影響 Impacts of anthropogenic and natural drivers on the sustainability of rural societies in the Vietnamese Mekong Delta	KANTOUSH Sameh	42
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	46
東南アジアにおける薬物使用者の持続的な社会的包摂に向けた方策 Strategies for sustainable social inclusion of people who use drugs in Southeast Asia	山田 千佳	48
地球環境学堂		
企業の ESG パフォーマンスに及ぼす金融の役割：日本の事例 Finance in sustainability transitions: Case of Japanese companies	森 晶寿	54

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, Katsuhiko 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
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. We have gathered an interdisciplinary and international research team from the fields of chemical-, wood-, and bio- sciences and technologies to demonstrate that lignin-based functional molecules can serve as the drugs of the future to treat serious diseases.

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, it is of the utmost importance to devise a strategy to make full use of all biomass components, including lignin, a promising aromatic biopolymer. Recently, we have successfully demonstrated the direct conversion of wood to functional imidazole derivatives by microwave-assisted one-pot conversion via diketone intermediates. Based on their structure, the obtained imidazole compounds were flagged for their promising biological activity and several experiments have confirmed the efficacy of some of these derivatives as tau and amyloid- β aggregation inhibitors, which suggests that these compounds could serve as effective treatments for Alzheimer's disease. Furthermore, the successful synthesis of lignin-derived drugs could be a significant step towards a more sustainable pharmaceutical industry and towards a more sustainable future for our society.

2. Current results

Imidazole synthesis from diketone

In order to explore the bioactivity of various wood-derived compounds, we have extended the library of lignin-derived imidazole compounds via microwave-assisted reactions with diketone as starting material.

So far, we have attempted to incorporate various functional groups in the lignin-derived compounds. Table 1 shows a selected number of the newly synthesized imidazole derivatives.

Bioactivity of imidazole derivatives

The newly synthesized imidazole compounds have then been tested for their inhibitory activity towards tau and amyloid- β aggregation. Briefly, the proteins are co-incubated with the candidate compound. The aggregations of the protein and the inhibitory effects of the candidates on protein-aggregate are monitored by Thioflavin-T fluorescence.

For the thioflavin-T fluorescence anti tau-aggregation assay, the imidazole derivative (10 μ M) is mixed with 0.9 mg/ml of recombinant Tau protein and 600 μ g/ml of heparin. Compound **2r** shows the greatest fluorescence decrease among the imidazole compounds, a remarkable result since it exceeds the activity of the 1 μ M solution of the reference active compound, KT-430. We can also compare the fluorescence intensity of the sample with imidazole to that of the sample with only heparin, a compound known to induce aggregation, and we can notice that the addition of imidazole results in a 77% decrease in fluorescence compared to the fully aggregated sample, see Fig. 1. These results indicate that imidazole compounds show anti-tau aggregation activity.

For the inhibition of the amyloid- β aggregation, the Thioflavin-T fluorescence assay shows that, in the presence of amyloid- β (125 μ M), a 10 μ M solution of the imidazole derivative **2r** performs better than the same concentration of the reference active compound (methylene blue) in the in vitro assay. The presence of the imidazole derivative **2r** results in a 58% fluorescence decrease compared to the control sample, while methylene blue shows a 53% decrease in fluorescence intensity compared to the control sample, see Fig. 2.

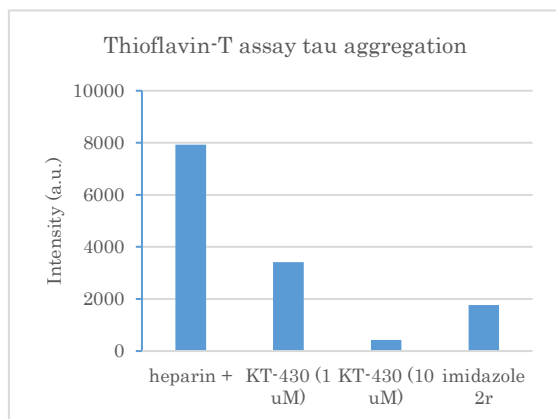
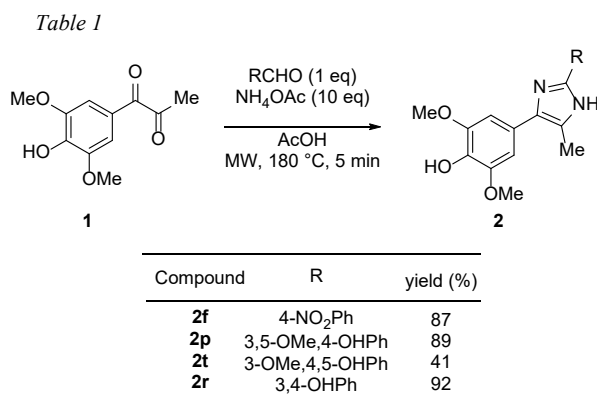


Figure 1. Tau aggregation inhibition assay. Thioflavin-T fluorescence intensity after 168 h.

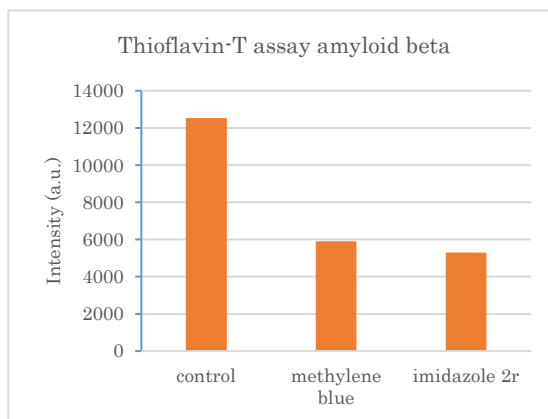


Figure 2. Amyloid beta assay. Thioflavin-T fluorescence intensity after 48 h.

3. Plans

Based on these promising results, we will test the best candidates for their inhibitory tau and amyloid- β activity in brain homogenate and successively via in vivo assays.

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.

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

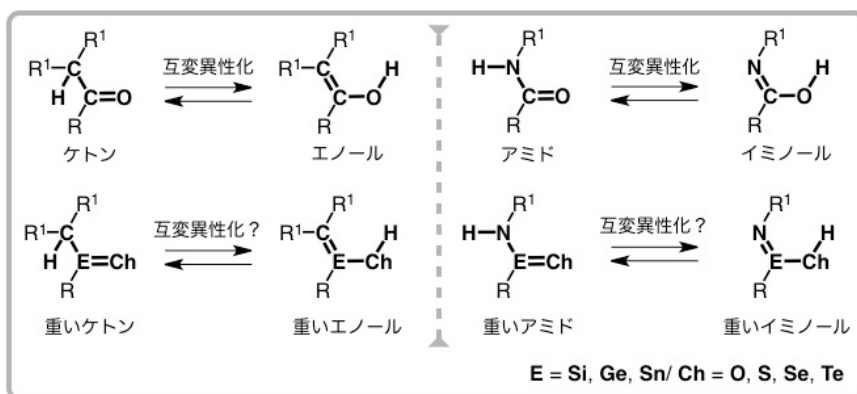
Department of Chemistry, College of Science, Rikkyo University

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 have synthesized acyclic aminogermynes **2a,b** with bulky substituents on the germanium and the nitrogen atom and a hydrogen atom on the nitrogen atom as precursors of germaneamides with the aim of clarifying the properties of germaneamides. The chalcogenation of aminogermynes **2b** led to the synthesis and isolation of the first stable heavy germaneamides **4b**.

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

1. はじめに

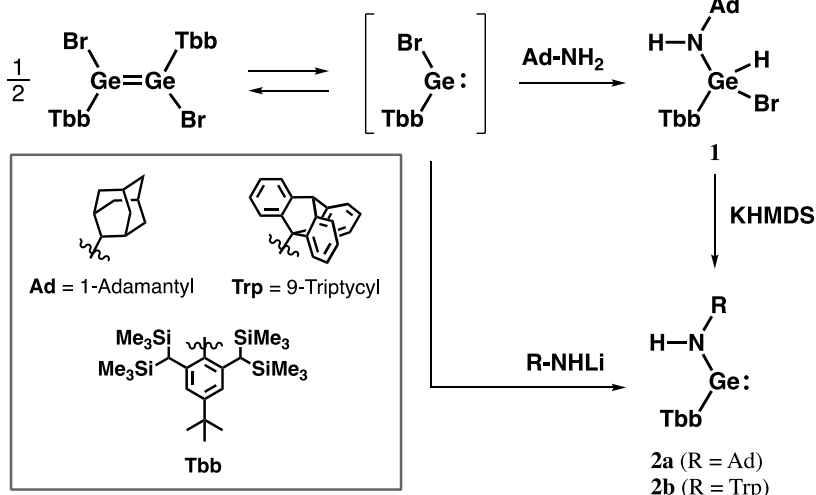
α -水素を有するカルボニル化合物が起こす互変異性化反応は、有機化学における重要な基本概念の一つであり、生体内、自然界など我々の身近に存在する反応である。この互変異性化反応が、「高周期元素を含む多重結合でも起こりうる普遍的な事象であるのか?」は興味深い命題であるが、全く未解明である。これは、高周期元素を含む多重結合が高反応性であり、その合成・単離が困難なためであり、これらの化学結合を研究対象とすることは挑戦的課題であるとも言える。ケトンのカルボニル炭素を高周期14族元素に置換した化学種は重いケトン類と呼ばれており、アミノ基等の孤立電子対の配位による熱力学的安定化や、立体保護基としてかさ高い置換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、重いアミド結合を有する化学種は合成例がない未踏分子群の一つである。



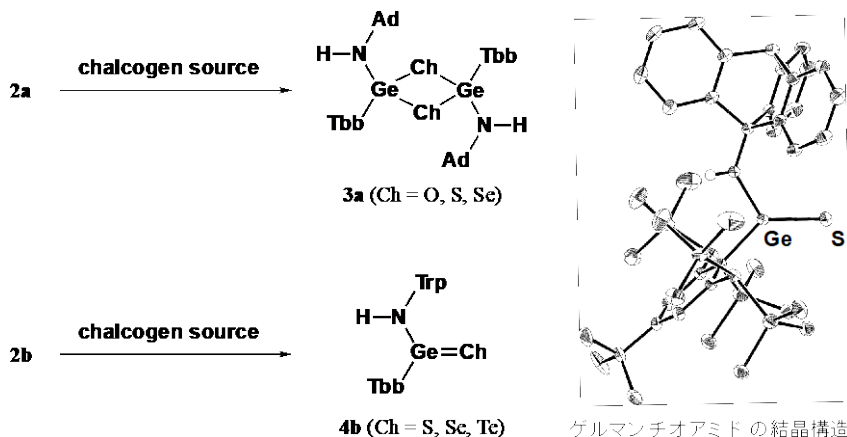
本研究では、カルボニル結合構成元素として高周期14族元素を含む互変異性化可能な重いケトン類、および対応する重いアミド類の合成を行い、第2周期元素に限られていた化学結合の理解を高周期元素の系へ拡張することを目的とする。また、 α -水素を有する重いケトン、アミド類の特性を活かして、重い元素を含むアルドール型反応等を開発し、新しい高周期元素結合形成反応開発と物質創製に応用するとともに、ユビキタス元素の新規活用法の開拓を通して持続可能社会実現のための基礎・基盤技術の確立を目指す。

2. 重いアミド類の合成

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基を有する1-アダマンチルアミノ基または9-トリプチシルアミノ基を選択した。ジブromogermene (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romogermene **1**が定量的に得られた。ブromogermene **1**とKHMDsとの反応によりアミノゲルミレン **2a**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。また、アミノゲルミレン **2**はジブromogermeneに対して対応するリチウムアミドを作用させることでも得られる。



ゲルマンアミド類の前駆体となるアミノゲルミレンが得られたため、アミド化反応を試みた。単離したアダマンチルアミノゲルミレン **2a**に対し、種々の16族元素導入試剤を反応させたが、生成物はトランス型のジカルコゲナジゲルメタン **3a**であることがX線結晶構造解析により明らかになった。**3a**は、ゲルマンアミドがhead-to-tail型で二量化したものであり、重いカルボニル結合はC=O結合と比べて分極が大きいため容易に二量化反応を起こすことが知られている。以上の結果から、アダマンチル基よりもかさ高い置換基を導入する必要があることが明らかになったため、トリプチシル基を有する **2b**をゲルマンアミドの原料として用いることとした。**2b**に単体硫黄、セレン、ホスフィンテルリドをそれぞれ加えると徐々に反応が進行し、ゲルマンアミドと考えられる化合物が高収率で得られた。いずれの窒素上のプロトンも、¹H NMRにおいて5~6 ppm付近の非常に低磁場に観測され、またTbb基の o -ベンジル位のプロトンも前駆体と比較すると低磁場シフトしており、ゲルマニウム-16族元素二重結合間に生じるアノトロピー効果の影響を受けていることが示唆された。最終的にX線結晶構造解析により構造を確定し、ゲルマンアミド類を初めて単離することに成功した。今後、反応性などの検討を行っていく予定である。



3. 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.

環境調和型有機フッ素コーティング剤の ラマン分光法による簡易分析

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 arrangement near the surface of a microparticle of perfluoro-*n*-alkane is investigated by Raman microscope spectrometry. When a particle has a smooth surface, some of the Raman-active bands assigned to the non-totally symmetric vibration modes disappeared. By considering the optical configuration and the selection rule of the vibration mode of the disappeared bands, the molecules near the surface have been found to be oriented in a perpendicularly standing manner, which agrees with the stratified dipole-arrays (SDA) theory.

Key Words: Organofluorine compounds, SDA theory, Molecular orientation, Raman spectrometry

1. はじめに

テフロンに代表される有機フッ素 (R_f) 材料は撥水性と撥油性を両方示す稀有な材料であり、医学応用をはじめ多様な用途で実用化されているが、環境への蓄積や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。こうした問題を考慮し、より短い R_f 鎖を用いた新規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望まれる。我々はこれまで、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い、(1)C-F結合に沿って現れる大きな双極子モーメントおよび(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、図1のような二次元集合構造が機能発現のカギであることを明らかにした(階層双極子アレー (SDA) 理論)^{1,2)}。CF₂基の数 (n) が7以上の R_f 鎖は自己集合能が高く、自発的にSDAパッキングを形成するため、塗布法によって作製した薄膜でも高い機能性が発現するが、自己集合能が低い $n=7$ 未満の R_f 鎖は自発的にパッキングせず、十分な機能性が得られない³⁾。我々は以前、 $n=3$ や5のような自己集合能が低い R_f 鎖であっても、界面固定化の技術を併せることで強制的にSDAパッキング構造を作れば、単分子膜であっても十分な機能性を示すことを明らかにした⁴⁾。このことは、SDAパッキングが機能性発現における必要条件であり、新規材料開発においても一次構造の分析だけでは不十分で、分子配向の分析が不可欠であることを意味している。

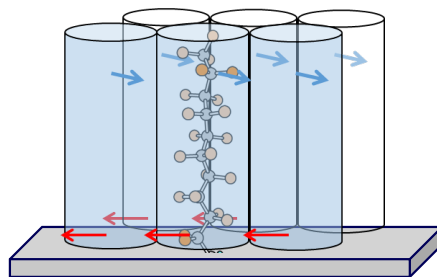


図 1 R_f 鎖の SDA パッキング

R_f 鎖の配向は、X線回折法 (XRD)³⁾や赤外pMAIRS法²⁾によって定量的に解析できることがわかっているが、いずれの手法も測定パラメータの精密な制御を要する。また、後者は用いる基板の材質が限られるため、産業応用において不向きなケースもある。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研究を進めている。今年度は、目標達成に向けたはじめの段階として、測定が容易な粉末状のパーフルオロアルカン粒子を対象とし、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。

2. 実験手法

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、共焦点型の顕微ラマン分光装置を用いて測定を行った。本装置は粒子上の任意の位置の測定が可能であり、面内方向 $10\ \mu\text{m}$ -i.d., 深さ方向 $30\ \mu\text{m}$ の領域の情報が得られる条件で測定を行った。

3. 結果と考察

$C_{24}F_{50}$ の粒子いくつかについて顕微画像観察を行ったところ、平滑な表面をもつ粒子と、表面が不明瞭で黒く見える粒子の二種類が存在した。代表的な粒子 A, B の顕微画像を図 2 に示す。それぞれ、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 R_f 鎖由来のラマン活性なバンドがすべて現れた⁵⁾。一方、粒子 A の表面を測定すると、四角で囲った数本のバンドが消失していた。報告されている PTFE 由来のラマンバンドの帰属を参考に比較したところ⁵⁾、消失しているバンドはいずれも非全対称振動由来であった。顕微ラマン分光装置で用いている後方散乱型の光学系および非全対称振動モードのラマンテンソルを考慮して、バンド消失の条件を検討した。その結果、測定領域の分子が図 1 のように立った状態で配向しているとき、こういったバンド消失が起こることがわかった。試料表面から数 $10\ \mu\text{m}$ の深さ領域において、 R_f 鎖が配向した SDA パッキングを形成していることを示唆する。このように、これらのマーカーバンドの強度に着目することで R_f 鎖の配向を議論できることがわかった。

配向のマーカーバンドの中でも特に強い $290\ \text{cm}^{-1}$ のバンド強度に着目して粒子 A についてラマンイメージング測定を行った。比較として、 R_f 鎖由来のラマン活性なバンドのうち強度が最も大きく、配向の影響を受けない $729\ \text{cm}^{-1}$ のバンドを用いたイメージングの結果と比較したところ、顕微画像で平滑に見える粒子の中心領域で、 $729\ \text{cm}^{-1}$ のバンドは強度が大きいのに対し、 $290\ \text{cm}^{-1}$ のバンド強度は極めて小さいことがわかり、平滑な領域全体で分子が垂直配向していることが明らかになった。

ラマン分光法は、励起光や散乱光の偏光を制御した測定によって分子配向を調べることができるが、図 1 のような配向状態を判別するうえでは、後方散乱型の装置を用いれば偏光子や検光子を要さないシンプルな光学系で解析できることがわかった。

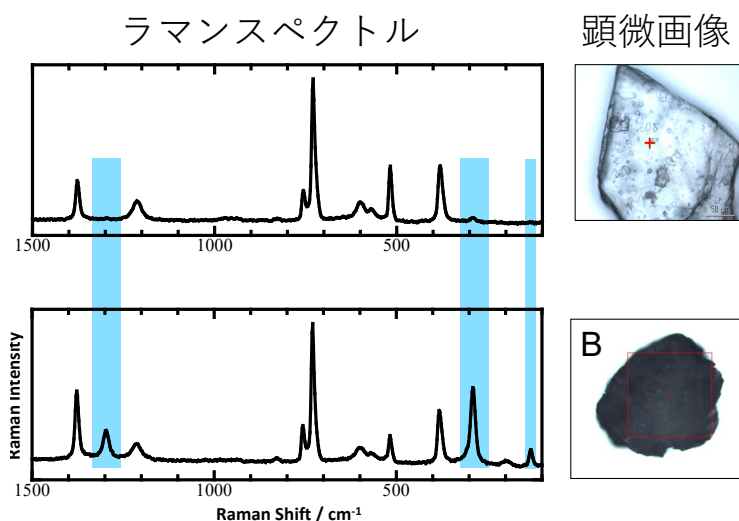


図 2 粒子 A および B の顕微画像とそれぞれの粒子表面のラマンスペクトル

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) Honda, K., Morita, M., Otsuka, H., Takahara, A.: Molecular Aggregation Structure and Surface Properties of Poly(Fluoroalkyl Acrylate) Thin Films, Macromolecules, Vol. 38 (13), 5699–5705, 2005
- 4) 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
- 5) 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しなければならず、また、今後実用化されるであろう癌ワクチンにもアジュバントが必要とされる。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

2020年度までに、自己集合性アジュバント材料「コリカマイド」を発見した。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TLR7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。

コリカマイドのアジュバント活性

コリカマイドはマウスにおいてアジュバント活性をもつ。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。

C7の発見

2021年度は、コリカマイドと抗原ペプチドとの併用による抗腫瘍活性を検討した。しかし、骨髄由来樹状細胞 (BMDC) においてコリカマイドは細胞毒性を示したため、コリカマイドの構造を最適化して低毒性化することにした。アジュバントの安全性は実用化にとって極めて重要である。12種類の新しい誘導体を評価した結果、C7が発見され、BMDCにおいてコリカマイドの3倍以上の免疫賦活効果を示すことがわかった。重要なことに、C7は80 μ MまでBMDCにほとんど細胞毒性を示さなかった。C7の毒性をマウスでも評価した。500 μ g投与しても、肝毒性の指標であるALT, AST, ALPおよび腎毒性の指標であるUREA, CREAの上昇は認められなかった。C7を新たな候補として研究をすすめた。

C7の癌ワクチンアジュバント作用

C7は免疫賦活作用が強く、毒性も低いことから、癌ワクチンのアジュバントとしての可能性を検討した。マウスにメラノーマを移植し、癌体積、生存率、体重減少を評価した。対照群およびC7のみを投与した群では、癌体積が増加し、15日以内にすべてのマウスが死亡したが、抗原ペプチドとC7を投与した群では、癌体積の増加が著しく抑制され、21日生存率は80%に達した。一方、抗原ペプチドのみを投与した群では、癌体積の増加はわずかに抑制されたものの、21日生存率は20%にとどまった。C7の細胞毒性が低い理由はまだ不明である。動的光散乱実験から、C7の集合体は、コリカマイドの集合体よりも熱力学的に安定であることが示唆された。このC7集合体の安定度が、その癌ワクチンアジュバントとしての優れた特性の一端を担っているのかもしれない。

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。
- 本研究でコリカマイドの誘導体であるC7に癌ワクチンアジュバント活性があることがわかった。今後、癌ワクチンが実用化されるときにアジュバントが必要となる。その時の候補となればと期待される。
- 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,
田宮裕之¹, 八木重郎¹

Satoshi KONISHI¹, Toshiaki UMEZAWA², Akihisa MORI³, Mahmoud BakrArabi,¹
Keisuke Mukai¹, Hiroyuki Tamiya¹ and Juro YAGI¹

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 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. Decomposition of biomass using microwave is experimentally pursued and enhanced hydrogen production was observed. Use of electricity is suitable for small scale application in farm and small biomass related business, while grid stabilization effect is regarded as a production of economic value..

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

1. はじめに

この研究はカーボンバジェット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、すなわちネガティブカーボンの生成と、それに伴う経済価値の創出を意図している。歴史的なカーボンバジェット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。エネルギー物質サイクルとして、地球規模での大きな流れとともに、ローカルなサイトでのビジネスモデルが必要であり、今年度は特に、小規模事業を想定したマイクロ波によるバイオマス熱分解の実験的開発を実施した。

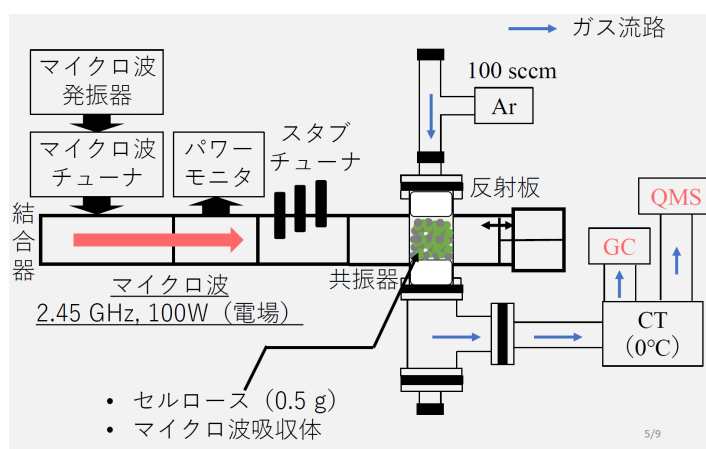
2. ローカル電力システムとマイクロ波によるバイオマス分解

最初のネガティブカーボン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、多くの場合において、この現場は必ずしも大規模熱源とリンクしていない。農林業の現場では廃棄物バイオマスが多く発生し、また太陽光発電の設置は農業コミュニティ活動とシナジーがある。一方、最近ローカルに導入が進む太陽光発電は、昼は余剰電力となり、接続拒否などの問題をわが国では生じており、また電力自由化の

進んだ他国では価格がマイナスになることもある。途上国でもこの状況は変わらない。したがって、ローカル現場において電力を極めて安価、場合によりマイナスコストで利用でき、またその即応性によりKW価値、 Δ KW価値をグリッド安定化の観点で持つことができる。さらには電力を変換してバイオ燃料化し、さらにこれを夜間等に燃料電池等で発電することもできる。もとより廃棄物バイオマスは、ローカル現場においては極めて小さい、あるいはマイナスコストで入手可能であり、移送コストも少ない。つまり、電力によるバイオマス熱分解は、熱ではなく電力をエネルギー源として用いても、十分経済的意義を持ちうる。

一方マイクロ波は、バイオマスの分解ガス化炭化過程に利用するとき、電気炉などと異なり、大きな熱容量と耐熱性を持つ炉体を必要とせず、バイオマスを封じた容器中に照射するだけで吸熱反応を駆動することができ、またその出力応答が急峻であるため、グリッドに対して Δ KW価値を得ながらバイオマス反応を実行するデマンドレスポンス型の電力特性を持つ。しかし、バイオマスの分解に際してマイクロ波からどのようにエネルギーが伝達され、さらには反応の進行に寄与できるかはまだ十分理解されていない。マイクロ波はバイオマス単体には作用しがたいため、誘電体、磁性体など様々な電磁的性質を持つ吸収体をバイオマスに

混合して照射することで、バイオマスの分解反応を試み、赤外線による熱分解と比較した。装置構成を図1に示す。マイクロ波はチューナを介して反応器を含む空間に定在波を発生するように調整して照射し、生成ガスをガスクロマトグラフ、質量分析計によって分析した。マイクロ波周波数は2.54GHz、出力100W、吸収体に Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 TiO_2 を用いた。バイオマス試料には生存圏の開発した高リグニン生産性イネ科草本、例えばソルガムなどの材料を想定しているが、予備実験としてセルロースとリグニンを個別に用いた。



3. 結果と今後の展開

セルロースはマイクロ波入射により急速に加熱され、約400°Cでガスを発生する一方、吸熱反応の進行により温度が低下し、反応が停止する。反応の結果として、反応器内にはチャーや黒化したセルロース粒子、タール用物質が石英管容器壁に付着する。加熱は定在波の中で、最も電場が強くなる位置で起こっているように見られる。

発生ガスからは、 H_2 、 CH_4 、 CO 、 CO_2 の存在が確認された。同じ400°C帯での赤外線加熱による実験とは発生ガスの組成は若干異なり、マイクロ波加熱では水素の含有率が高くなっている。しかしこれは、発生ガスがその後の冷却過程においてシフト反応を起こした結果とも考えることができ、必ずしもマイクロ波の効果とは言いきれない。

加熱機構としては、電場の分布との相関が認められることから誘電加熱が主であるものと推測される。ただし、吸収体単独、セルロース単独では加熱が起こらず、混合充填においてのみ加熱が起きたことから、加熱メカニズムについてはさらに考察が必要があると考えている。

現在のところ、まだ初期的な実験であり、ガス発生や木炭生成は確認されたものの、エネルギー収支、物質収支は測定できていない。今後の実験においてこれら基本的な特性を取得するとともに、エネルギー利用効率を評価することが今後の大きな目標である。

マイクロ波吸収体には甘楽図師も触媒的機能があるとは限らないが、マイクロ波による化学反応が熱的反応と異なる生成物を発生することが既往研究において知られている。今後、工学的には廃棄物系バイオマスの処理装置として、マイクロ波加熱のフィジビリティを評価する予定である。一方、この装置は1 MW～10 MW 規模の小規模プラントとして重要な地位を持ちうる。農村等のネガティブカーボン経済として成立するビジネスモデルを検討する。

図1 マイクロ波によるバイオマス分解の実験装置構成

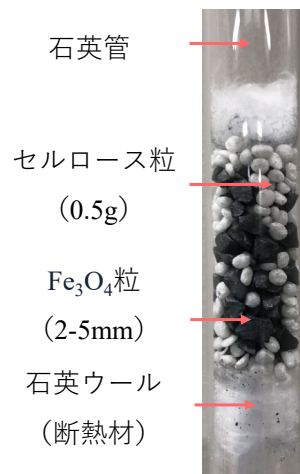


図2 バイオマス反応器充填部

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 NOHIRA ¹, Daisuke SHIBATA ¹, Tsutomu KODAKI ¹,
Takayuki YAMAMOTO ¹, and Toshio OKABE ²

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. In FY2021, we investigated the improvement of the performance of ionic liquid sodium secondary batteries, which are a promising candidate for storage batteries for such purposes. In addition, a plan to compare the performance of several different storage batteries was studied for use in a greenhouse.

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。その結果、施設園芸(ハウス)用としてはリチウムイオン電池が、屋外農地用には鉛蓄電池が有力候補であることが分かった。一方、それぞれに課題もあるため、令和3年度は、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」に関する性能向上の検討、および、数種類の蓄電池による性能比較実験の計画について検討した。

2. 持続可能社会の創造との関連性について

2050年のカーボンニュートラル社会実現に向けて、農地における再生可能エネルギーの導入は極めて大きなポテンシャルを有している。農地はそもそも平地で日照も良いため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。しかし、太陽光発電は変動性があるため、蓄電システムの併設が必須である。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。すなわち、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

前年度の「農村に適した蓄電池の検討」の結果、まず、施設園芸の場合、エネルギー密度やエネルギー効率が低いリチウムイオン電池が第一候補となった。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った。一方、屋外農地の場合、大規模・低コスト型が向いており、コスト面から鉛蓄電池が第一候補となった。ただし、サイクル寿命およびエネルギー効率に課題があった。これらと比較して、筆者らが開発してきたイオン液体ナトリウム二次電池は、安全性が高く、室温～90℃までで動作可能であるため、施設園芸用としても屋外農地用としても期待できる。課題はエネルギー密度の向上であった。

そこで、令和3年度は、性能向上を検討した。図1に、(a)2016年までに開発した従来型、および、(b)改良型のナトリウム二次電池の外観写真を示す。どちらの電池も、電解液に[C₃C₁pyrr][FSA]-Na[FSA] (C₃C₁pyrr: *N*-methyl-*N*-propylpyrrolidinium, FSA: bis(fluorosulfonyl)amide)、正極活物質に NaCrO₂、負極活物質にハードカーボンを用いている。正極および負極における活物質・導電助剤・バインダーの混合比や膜厚の最適化等により、重量エネルギー密度は、従来型の 75 Wh kg⁻¹ から、改良型は 106 Wh kg⁻¹ (Al ケース換算値) へ向上した。また、体積エネルギー密度は、従来型の 125 Wh L⁻¹ から、改良型は 173 Wh L⁻¹ へ向上した。



図1 イオン液体ナトリウム二次電池の外観。(a) 従来型¹⁾, (b) 改良型。

次に、蓄電池を設置する場所として施設園芸(ハウス)を想定し、各種蓄電池の性能を比較する計画を検討した(図2)。栽培作物としてはトマトを想定し、太陽電池パネルで発電した電力でヒートポンプを運転させる。昼間の余剰電力は、市販のリチウムイオン電池および鉛蓄電池、さらに、開発したナトリウム二次電池に蓄電し、夜間や雨天の電力が不足するときに使用する。実際のハウス内の温度環境において、充放電パターンを変化させて運転したときの、エネルギー効率、電池の劣化等を評価すれば、それぞれの電池の適性や課題が明らかになると考えられる。

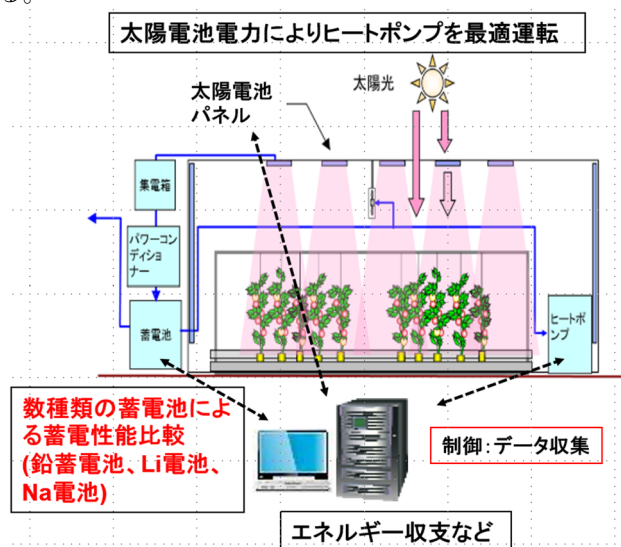


図2 施設園芸(ハウス)における最適蓄電池検証計画の概略図。

参考文献

- 1) A. Fukunaga, T. Nohira, R. Hagiwara, K. Numata, E. Itani, S. Sakai, K. Nitta, *J. Appl. Electrochem.*, **46**, 487-496 (2016).

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, 山村 正臣¹, 山崎 清志¹, 坂本 正弘², 高田 理江¹,
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, Masaomi YAMAMURA¹, Kiyoshi YAMAZAKI¹,
Masahiro SAKAMOTO², Rie TAKADA¹, 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インドネシア研究イノベーション庁

Badan Riset dan Inovasi Nasional, 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。今後持続型社会構築に向けて、これ以上天然林伐採を行わずに、化石資源代替炭素 (有機化合物) 資源を持続的に生産するためには、この荒廃草原の農地・林地への転換が喫緊の課題となっている。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す、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。しかしこの荒廃草原の植生回復は長年にわたる未解決の課題であり、非常に困難が見込まれており、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。以上に鑑み、研究代表者梅澤と研究分担者梅村らは、インドネシア研究開発庁 (旧、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い、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の作出・選抜を目的として研究を進めてきた。すなわち、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てきた。

本年度は昨年度に引き続き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を進めるとともに、イネをモデルとして得られたリグニン含有量増加に寄与する遺伝子情報に基づくソルガム変異体の選抜を進めた。

(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) イネの代謝工学とソルガムの選抜育種

イネにおいてリグニン合成活性化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、それらの過剰発現イネの作出を行った。現在T1世代の栽培を進め、年度内に化学分析を終了する予定である。またイネをモデルとして得られたリグニン含有量増加に寄与する遺伝子情報に基づき、ソルガム変異体集団から、対応する遺伝子の変異体の選抜を進めた。なお、イネ科植物リグニン構造解析をインドネシアにおいて実施可能とする実験条件について取りまとめた資料を執筆した¹⁾。

(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（査読中）。

参考文献

- 1) Yamamura, M., Miyamoto, T., Takada, R., Widyajayantie, D., Windiastri, V.E., Nugroho, S., Umezawa, T., A Microscale Protocol for Alkaline Nitrobenzene Oxidation of Lignins Using a Readily Available Reactor, *Lignin*, 2, 19-24 (2021)

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 for Environmental Restoration in Fukushima Prefecture

上田 義勝¹, 徳田 陽明², 二瓶 直登³, 谷垣 実⁴, Rattanaporn Norarat⁵

Yoshikatsu UEDA¹, Yomei TOKUDA², Naoto NIHEI³, Minoru TANIGAKI⁴,
Rattanaporn Norarat⁵

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東京大学・大学院農学生命科学研究科

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

⁴京都大学・複合原子力科学研究所

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science

⁵Rajamangala University of Technology Lanna

This paper introduces the case study of environmental radioactivity monitoring of the test site for agricultural crops and the surrounding rivers and roads in Iitate Village, Fukushima Prefecture. The measurements were carried out on foot, walking between the cropland and the surrounding footpaths and irrigation channels to investigate the radioactive cesium newly flowing into the cropland after decontamination and the cesium movement in the channels. In this fiscal year, the measurement errors on the slopes around the farmland were evaluated in detail to confirm the degree of correctness of the measurements.

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

1. はじめに

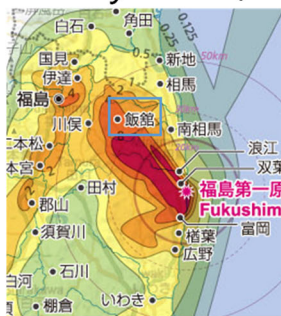
我々はこれまで、歩行サーベイ型の装置を用い、特に農業用地における地表面汚染密度についての計測を福島県下にて行ってきた。特に飯舘村などの山中の圃場においては、圃場周辺の環境（灌漑水路など）の影響がある他、圃場横の山などの斜面における影響がより多く出ることがあった。尚、山岳の森林地域においては、現在でも除染作業を行っていない場所も多く、放射性セシウムの流出の可能性もある。我々はとくに地表面汚染密度の精度に関して、この斜面のKURAMA-II (Kyoto University Radiation Measurement System II), による計測の影響がどの程度あるかについて、精密に計測を進めてきた。本論文ではこれについて報告する⁵⁾。

2. KURAMA-IIによる計測実験

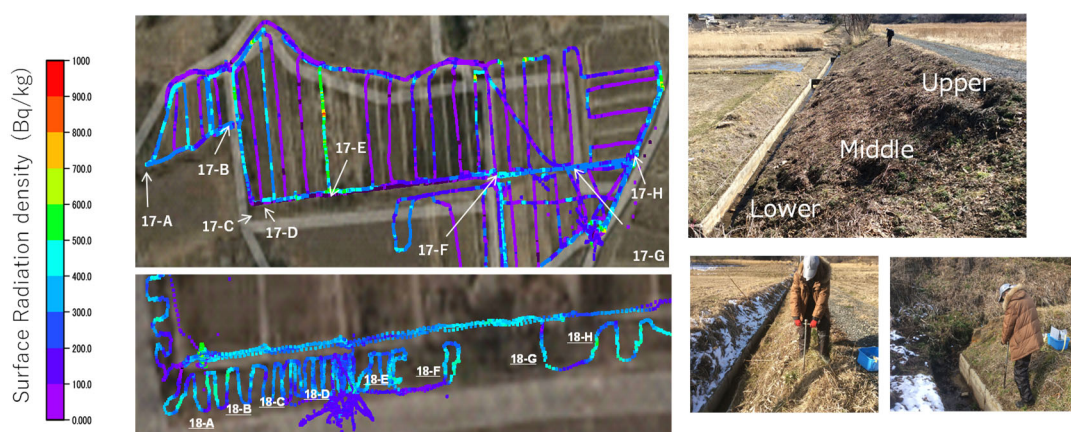
斜面計測の場所としては、福島県飯舘村の圃場をお借りして、計測を行った。具体的には、田んぼと若干の斜面がある部分について歩行サーベイによる計測を行い、特に田んぼ横の灌漑水路周辺の斜面において、より多くの計測データを集めた。計測日時は2017年12月15日と2018年3月17日に行った。KURAMA-IIによる計測結果と、実際の土壌サンプリングとの比較を同時に行うため、斜面の上部と下部の土壌サンプリング（2017年12月15日）、また斜面中部も

追加して行った（2018 年 3 月 17 日）。このサンプリングの際は、地表面からの深さ方向の放射性セシウム濃度を確認するため、地表面(0cm)から順に、0-5cm, 5-10cm, 10-15cm の 3 段階の深さ方向の土壌中の濃度を計測した。

Paddy field (Iitate Village)

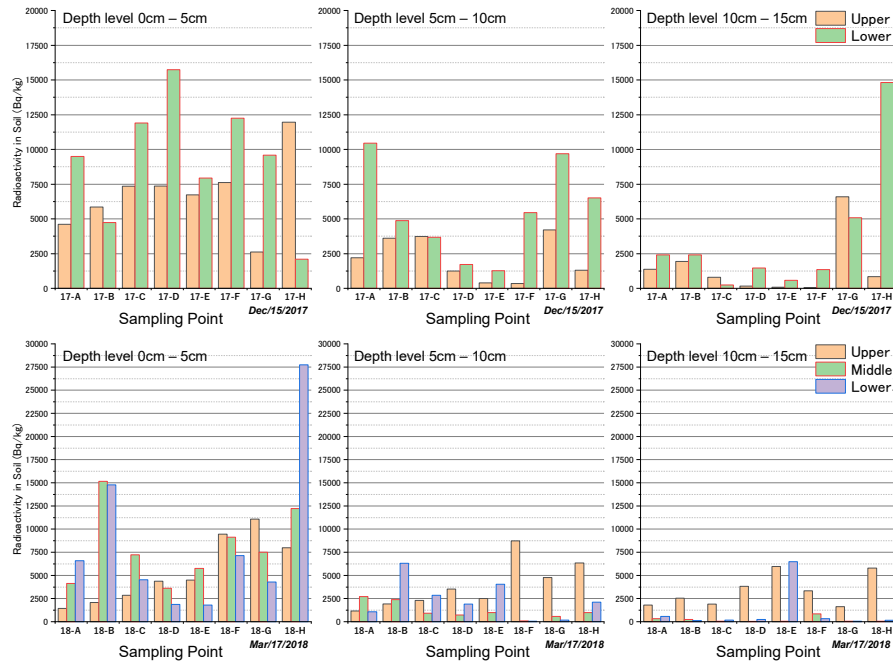


KURAMA-II による歩行サンプリングの結果をカラーマップにて、また土壌サンプリングをした地点について下記図に示す。2017 年サンプルは 17-A から H の 8 地点（上部と下部）、2018 年サンプルは 18-A から 18-H までの 8 地点（上部、中部、下部）をサンプルして放射性セシウム濃度を計測した。また、KURAMA-II の歩行サーベイデータについては、計測した生データからは、地表面汚染密度の計算式から地表面汚染密度を計測している。また、土壌サンプリングとの比較のため、土壌サンプリングした場所とおおよそ同じ場所の KURAMA-II の地表面汚染密度を確認した。KURAMA-II の地表面汚染密度と、土壌サンプリングの濃度との比較を行うため、相関図として x-y プロット(y 軸: KURAMA-II, x 軸: 土壌サンプル)を作成した。特に土壌サンプルについては、深さ方向別の相関と、全体平均の図を作成し、その相関関係について、Coefficient of determination(COD)により評価を行った。



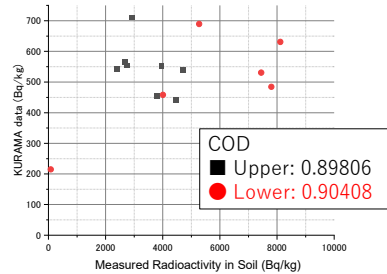
3. 計測結果

2017 年と 2018 年にサンプリングした土壌の放射性セシウム濃度について、下記図に結果を示す。

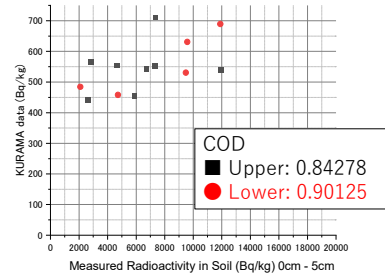


双方の時期のサンプリングにおける傾向としては、一部(17-H)の例外はあるもののまず深さ方向に応じて、土壌中の放射性セシウム濃度が減少している事が挙げられる。これは放射性セシウムが土壌深くにはあまり浸透せず、表層 5cm 程度までしか浸漬しないことを表す。また、斜面の上中下の場所による濃度比較については、表層(0-5cm)においては、斜面中部および下部においてセシウム濃度が高い地点が多い。斜面においても雨などの外部からの影響により、斜面上部から下部に移動する事が考えられるため、この結果も妥当であるとする。また、2018 年の下層(10-15cm)の濃度分布については、斜面上部の放射性セシウム濃度のみが検出されている地点が多い事については、2018 年の土壌サンプルした地点は、人の移動などが未だほとんどない場所であり、土壌の浸食が最低限に抑えられた事と、斜面の横にある山からの放射性セシウムの移行が常にあったため、深い土壌にも放射性セシウムが一定量存在していたのではないかと考える。続いて、KURAMA-II と土壌サンプルとの相関についての結果を図に示す。

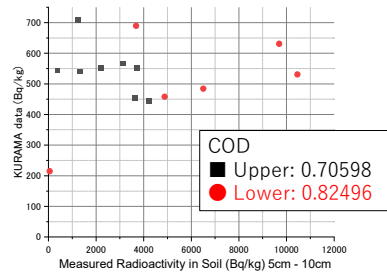
Average



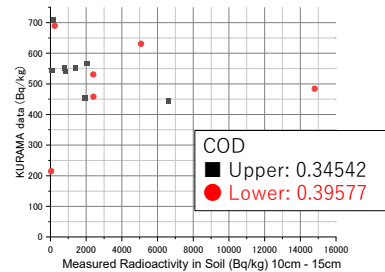
Depth level: 0cm-5cm



Depth level: 5cm-10cm

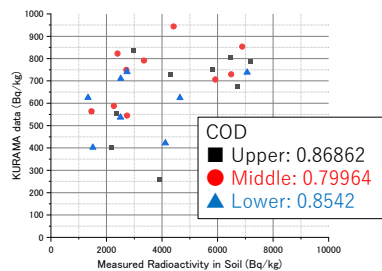


Depth level: 10cm-15cm

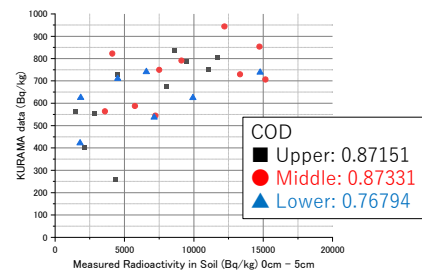


2017 年のサンプルについては上図にプロットしているを示す。R² 乗平均 COD から見ると、全体平均と 0-5cm の表層において、相関が高くなっていることがわかる。特に表層との相関は非常によく出ており、KURAMA が地表面汚染密度をよく計測できている事がわかる。その一方で、土壌の実測結果とはおよそ 7 倍程度の違いがある事から、実測と合わせるためには、校正の為のサンプリングが必要であることも分かった。また、深さ 5cm 以下では徐々にばらつきが多く出ている事もわかった。KURAMA は空中から地表面汚染密度を計測している原理から、地中の汚染濃度については精度があまりよく出ないことも分かった。

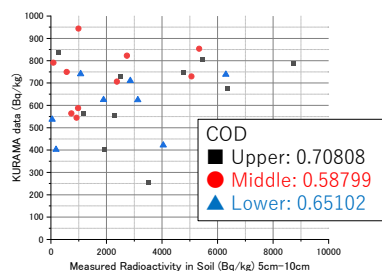
Average



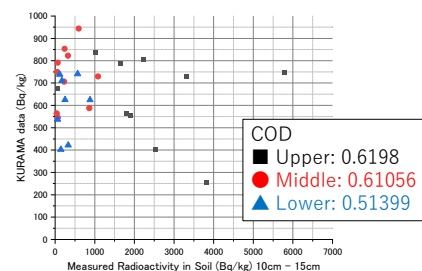
Depth level: 0cm-5cm



Depth level: 5cm-10cm



Depth level: 10cm-15cm



2018 年のサンプル結果について上図に示す。2017 年と傾向としては同様であり、特に表層 0cm - 5cm の土壌サンプルと非常に良い相関が出ていることがわかる。一方で、斜面の中部および下部においての相関が悪い結果も出ている。このことは、2017 年の斜面はどちらかというと勾配が緩く、高さも低い斜面での測定であったのに対し、2018 年の斜面は写真（図）にも掲載しているが、高さ 5m 程度の斜面であるため、斜面側面からの影響が出やすく、その為に相関が低くなってしまったと考えられる。しかしながら、ある程度勾配が急で高さもある斜面であっても、KURAMA による地表面汚染密度は十分計測できる結果となった。

4. まとめ

KURAMA-IIによる地表面汚染密度計測について、特に田園圃場の斜面部における計測が、実際の土壌サンプリングとどの程度違いがあるかについて確認した。相関プロットによる比較では、特に表層0-5cmにおける相関が非常に高く、KURAMA-IIにより精度よく地表面汚染密度が計測できている事がわかった。一方で、斜面においてはKURAMA-IIでの計測結果と、実測した土壌の放射能汚染密度が7倍程度の差が出ている事から、この差を較正するための初期計測が非常に重要であることも判明している。今後はより精度よく計測するための較正データを集め、簡易であってもより精度よく土壌中の地表面汚染密度が計測できるシステムとして使用していきたい。

参考文献

- 1) M. Tanigaki, R. Okumura, K. Takamiya, N. Sato, H. Yoshino, H. Yoshinaga, Y. Kobayashi, A. Uehara, and H. Yamana, “Development of KURAMA-II and its operation in Fukushima,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 781, pp. 57-64, 2015.
- 2) M. Andoh, S. Mikami, S. Tsuda, T. Yoshida, N. Matsuda, and K. Saito, “Decreasing trend of ambient dose equivalent rates over a wide area in eastern Japan until 2016 evaluated by car-borne surveys using KURAMA systems,” *J Environ Radioact*, vol. 210, pp. 105813, Dec, 2019.
- 3) M. Andoh, H. Yamamoto, T. Kanno, and K. Saito, “Measurement of ambient dose equivalent rates by walk survey around Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using KURAMA-II until 2016,” *J Environ Radioact*, vol. 210, pp. 105812, Dec, 2019.
- 4) 上田 義勝, 杉山 暁史, 徳田 陽明, 二瓶 直登, 谷垣 実, 東日本大震災から10年を迎えて（福島県における支援研究）, 生存圏研究, ISSN1880-649X_No.017, 2021.11
- 5) Y. Ueda, N. Nihei, R. Norarat, M. Tanigaki, Correlation between Radiation Measurement on the Field Slopes using KURAMA-II(Kyoto University RAdiation MApping system) and Environmental Radioactivity in the Soil Depth Direction, SPRINGER PROCEEDINGS in Physics, INCREASE and 6th ARN, accepted 2021

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, Hyper-fermenting *Saccharomyces cerevisiae*, Bioethanol production, Antivirals.

1. Introduction

Climate changes imposed the necessity to generate efficient ways to replace chemicals and biofuels production from eco-friendly avenues to reduce greenhouse gas emissions. Renewability and abundance of lignocellulosic biomass promote this replacing production especially given the expanding demand. The biomass, however, needs to break down effectively before bioconversion. A biomass conversion laboratory, RISH, Kyoto University, reported the assistance of Microwave to the organic and inorganic acids in the aqueous glycerol during pretreating the recalcitrance of softwood (1). Also, alum has been reported as an eco-friendly catalyst to enhance biomass glycerolysis (2). Furthermore, we generate efficient glycerol converting yeast via metabolic engineering to develop this scenario (3). In addition, we have previously generated several xylose-fermenting yeasts (4, 5).

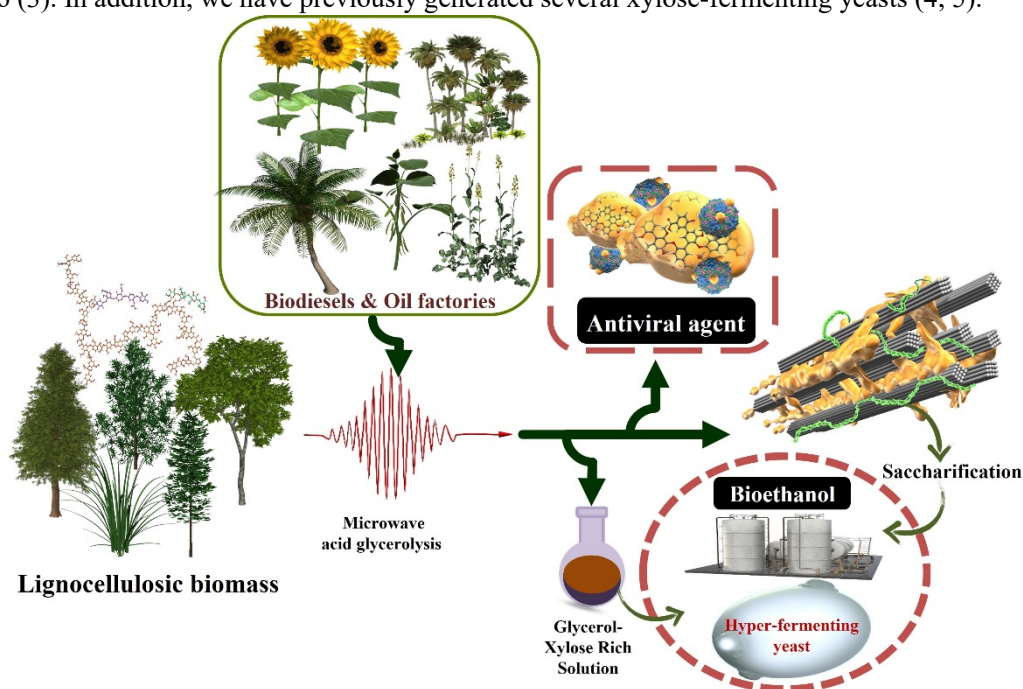


Fig. 1. Scheme of the biorefinery scenario.

Interestingly, a biomass conversion laboratory has also reported on the production of antiviral agents during glycerolysis of biomass (6-9). Therefore, we have seeking to further develops using alum and/or H₂SO₄ to catalyze the glycerolysis (Fig.1). Meanwhile, we are pursuing the construction of hyper-fermenting yeast that can ferment all biomass released sugars with glycerol (Fig.2).

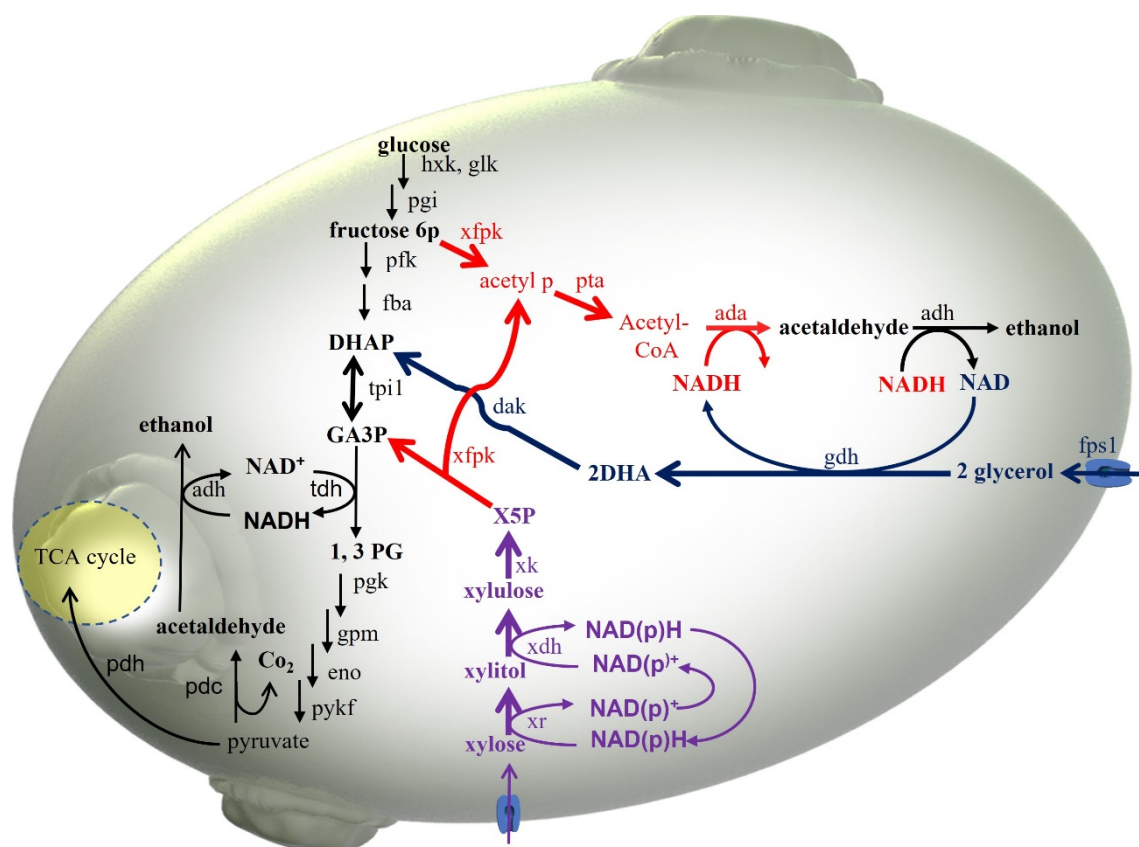


Fig.2. Scheme for developing a hyper fermenting yeast cell for bioprocessing the glycerolysis of biomass.

2. Methods

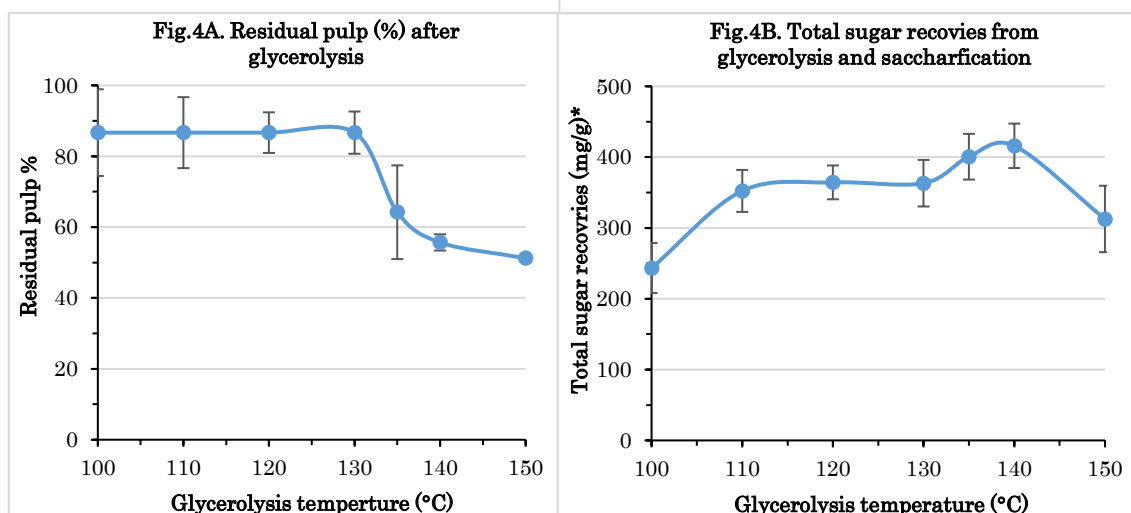
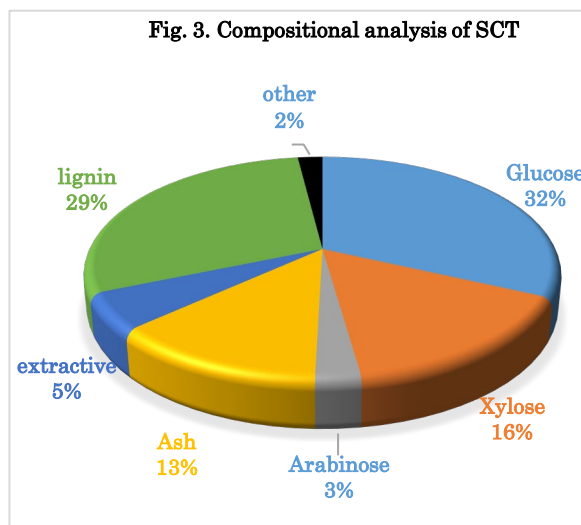
In this study, we used sugarcane trash (SCT) as an abundance source of lignocellulosic biomass in tropical and subtropical regions. The SCT used here was imported from Thailand. Compositional analysis was determined according to NREL Laboratory Analytical Procedures (10-12). Glycerolysis of SCT was carried out in Microwave with H₂SO₄, and alum for 30min at different temperatures (100, 110, 120, 130, 140, 150). Following glycerolysis, soluble sugars was recovered by filtration, then antiviral was fractionated by organic solvent and tested as described elsewhere (6-9).

Enzymatic saccharification was carried out using Cellic® Htec2. Sugars was estimated by HPLC and the aminex columns HPX-87P & HPX-87H. Fermentation at this stage was conducted by two recombinant stains: xylose fermenting yeast and glycerol converting yeast.

3. Results and Discussion

The compositional analysis of SCT is showed in Fig.3, which is consistent with the other reported data, although we noticed higher ash content of the current sample than the average level.

Fig. 4A shows the residual pulp after glycerolysis at different temperatures. Reaction at 140 °C showed the highest total recoveries from glycerolysis and the enzymatic saccharification (Fig.4B).



The glycerolysis efficiency applied here is reflected in the enzymatic saccharification, which reached 99%. As a result, the total recoveries of sugars reached 89% of theoretical biomass sugars (Fig.4B). The xylose-fermenting yeast and glycerol converting yeast fermented all released sugars with glycerol. The conversion efficiency to ethanol showed 96% of the consumed sugars and glycerol. Interestingly, the ethanol titer reached 10% as an essential for industrial perspective.

With a simple rinse of the pulp after glycerolysis, we recovered 27% of lignin as an antiviral agent (7.9% of dry SCT). The antiviral has inhibited encephalomyocarditis virus (EMCV) replication in L929 cells without cytotoxicity. These findings are promoting for pursuing the second part of our scenario, which includes the construction of hyper fermenting strain as illustrated in Fig.2.

4. Conclusion

We achieved the first part of our scenario for biomass conversion to bioethanol and antiviral. We are working on completing the second part of generating hyper- fermenting yeast for this perspective.

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- Khattab SMR, Watanabe, T. 2021. Efficient conversion of glycerol to ethanol by an engineered *Saccharomyces cerevisiae* Strain. *Appl Environ Microbiol* 87(23): e0026821 <https://doi.org/10.1128/AEM.00268-21>
- 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- Li, R.; Narita, R.; Nishimura, H.; Marumoto, S.; Yamamoto, S. P.; Ouda, R.; Yatagai, M.; Fujita, T.; Watanabe, T. Antiviral activity of phenolic derivatives in pyroligneous acid from hardwood, softwood, and bamboo. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2018, 6, 119–126, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01265>
- 7- Li, R.; Narita, R.; Ouda, R.; Kimura, C.; Nishimura, H.; Yatagai, M.; Fujita, T.; Watanabe, T. Structure-dependent antiviral activity of catechol derivatives in pyroligneous acid against the encephalomyocarditis virus. *RSC Adv.*, 2018, 8, 35888–35896 <https://doi.org/10.1039/C8RA07096B>
- 8- Kimura, C.; Li, R.; Ouda, R.; Nishimura, H.; Fujita, T.; Watanabe, T. Production of Antiviral Substance from Sugarcane Bagasse by Chemical Alteration of its Native Lignin Structure through Microwave Solvolysis. *ChemSusChem*, 2020, 13(17), 4519–4527. <https://doi.org/10.1002/cssc.202000490>
- 9- Li, R.; Ouda, R.; Kimura, C.; Narita, R.; Nishimura, H.; Fujita, T.; Watanabe, T. Conversion of beech wood into antiviral lignin–carbohydrate complexes by

microwave acidolysis. ACS Sustainable Chem. Eng. 2021, 9 (28), 9248–9256.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c01450>

- 10- 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.
- 11- 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.
- 12- 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.

異なる温度条件下で急速熱分解を行った 木質炭化物の表面形態観察

SEM Observation of Char Obtained by Fast Pyrolysis

畑 俊充¹, 本間千晶², 渡辺隆司¹

Toshimitsu Hata 1, Sensho Honma 2, Takashi Watanabe 1

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, JAPAN.

²北海道立総合研究機構林産試験場

Forest Products Research Institute, Hokaido Forestry Research Organization, Japan

再生可能なバイオマス資源から化学品や機能性材料を製造することは、大きな関心を集めている。本研究では、芳香族化学品と機能性炭を同時に製造するために、スギ木粉にパルス通電による急速熱分解を実施した。その結果、500℃処理炭においてアンモニア吸着が最大となった。電子顕微鏡による形態観察から、スギ炭表面において微細空隙の発達が見られガス吸着性に寄与したと思われる。

Key Words: wood biomass; pulse-current heating; pyrolysis residue; ammonia adsorbent; scanning electron microscopy

1. はじめに

化石資源以外から有用な化学物質を得るための技術開発が世界的に注目されている。特に、豊富な木質バイオマスを原料とした化学品の製造が求められている。炭化は、バイオマスを迅速かつ効率的に化学品に変換する重要な技術であり、化学産業が化石資源の一部を再生可能資源由来の炭素で代替しようとする動きを支えている¹⁾。

本研究では、機能性木炭を製造するために、パルス通電による急速熱分解をスギ木粉に実施し、300～800℃の温度範囲で調製した試料について、その形態を観察した。走査電子顕微鏡を用いて分解物の形態的变化を観察し、アンモニアガスの吸着機構について考察した。

2. 実験方法

リグノセルロース系バイオマス原料として、和歌山県産スギ (*Cryptomeria japonica*) の30年生辺材木粉を使用した。スギ木粉の灰分を日本工業規格 (JIS) M8812に従って測定したところ、0.3%という値が得られた。ボールミルによって調製された木粉の平均粒径は、 $\sim 21\mu\text{m}$ であった。外径9mmの石英管に木粉約150mgを入れ、内径10mmの中空円筒状黒鉛製型に入れ、図1のようにパルス通電加熱装置で、電極に隣接する2つの黒鉛型円盤の間に設置した。石英管、捕集瓶、ガス採取バッグを連結し、閉鎖系で実験を行った。熱分解によって発生した揮発性物質は、L字型の石英管 (図1(A))

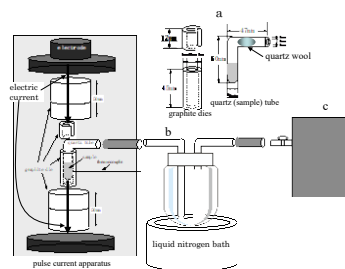


図1 急速熱分解システム¹⁾

によって電流を妨げずに回収瓶に導かれる。反応器の温度は、コンピュータに接続した熱電対でモニターした。熱電対を挿入するために、黒鉛型には電流を妨げない程度の小さな穴（内径1mm）が開けられている。木粉試料は、パルス通電装置（VCSP II, SS Alloy, 広島）を用いて、熱分解時間3分、15-20℃/sの速度で300℃、400℃、500℃、700℃および800℃に加熱して熱分解オイルとチャーを効率よく得ることができた（図 2）。

前述の加熱速度で反応温度を維持するため、12～16Vで700～950Aまで数秒間電流を上げた後、2～4.5Vで200～450Aまで減少させた。黒鉛製型に入れた石英管の輻射加熱と伝導加熱により、木粉試料が効率よく熱分解が行われた。石英管内に捕捉されたチャーを、洗浄・ろ過して回収し、乾燥と秤量により定量した。

2. 結果と考察

スギのパルス通電熱分解で得られたチャーの機能性を評価するため、アンモニア吸着能に及ぼす熱処理温度の影響を検討した。チャーに吸着されたアンモニア量は、元素分析で得られたNの重量パーセントで評価したところ、アンモニア吸着量は、500℃で熱分解したチャーで最大となった。アンモニア吸着量は反応器温度が300℃から500℃で増加し、600℃から800℃で減少することが確認された。

500℃で熱分解して得られたチャーにアンモニアが優先的に吸着することがわかり、吸着率の熱分解温度への高い依存性が確認された。300℃熱処理物ではマクロ孔が観察され、400℃においてミクロ孔の生成が開始し、500℃においてマクロ孔の消失とミクロ孔の均一な分布が見られた。700℃以上では炭素の結晶化に伴いミクロ孔が消失したと推定される。チャーの表面形態の観察により、500℃におけるミクロ孔の発達にアンモニア吸着量の増大に寄与したと思われる。

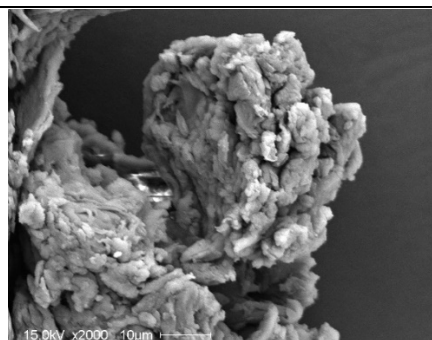
3. 結論

電子顕微鏡によるチャーを構成する要素の空隙の大きさおよび分布の観察から、アンモニアガスを効率的に吸着する最適な温度が存在することがわかった。

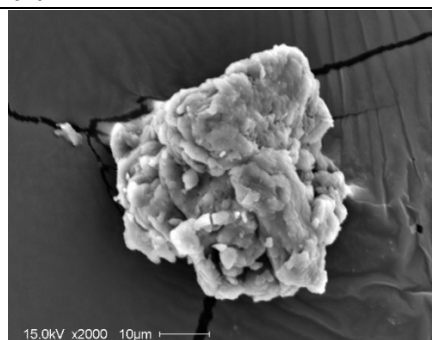
参考文献

- 1) Honma, S.; Hata, T.; Ohashi, Y.; Sulistyo, J.; Watanabe, T.; Yoshimura, T., Simultaneous production of aromatic chemicals and ammonia adsorbent by pulse - current pyrolysis of woody biomass. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 92 (3), pp. 522-529 (2017)

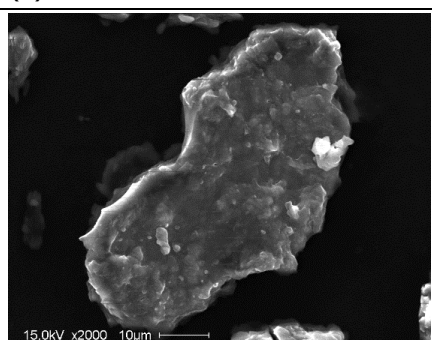
(a) 300℃熱処理



(b) 400℃熱処理



(c) 500℃熱処理



(d) 700℃熱処理

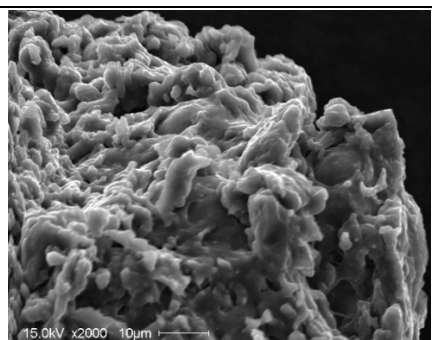


図 2. NH₃吸着後のスギ炭化物のSEM像

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: 研究のフレームワークおよび現状と今後の課題

Development of an assessment tool for hillslope hazards by heavy rainfall toward
resilient local society: research framework, present status, and future tasks

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

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 researchers and local resident. In the modeling, production and accumulation of soil on hillslopes 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 proto-type of the system has been established and checked its predictability for rainfall-induced landslides. Both of deterministic and probabilistic outputs from the model will be validated by application in test sites

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す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の概要について述べ、現在までの到達点と今後の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・可視化システムを日本および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、まず日本の山間域を対象に、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、東アジア全体をターゲットとした、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：研究のフレームワーク

流域圏において人的被害を引き起こし、家屋やインフラに損害をもたらす土砂の生産と輸送の概念を図 1 に示す。まず土砂は、斜面上での土層の崩壊（表層崩壊）や溪床物質の流動化によって生産される。河道に供給された土砂は、流路上の堆積物を巻き込みながらマスアップし岩盤河道上を流下する（土石流）。そして沖積低地において氾濫し、土砂災害を発生させる。これらのハザードを定量的に評価し、可視化するためには、斜面における不安定土塊の量（すなわち土砂の Productivity）、斜面と河道の連結性（Connectivity）、そして、河道の土砂疎通能力（Transportability）を分析する必要がある。このうち、Connectivity と Transportability については、流域の地形解析に基づき、例えば逆算等価摩擦係数や河道流砂容量などのプロキシによって評価できる可能性がある。一方、Productivity については、任意の降雨に対する応答として広がる不安定斜面の面積に、そこでの土層の厚みを乗じた値として評価され得る。ただし、これには流域斜面における土層の厚みの空間分布の推定と、表層崩壊の引き金となる土層内での間隙水圧の上昇をもたらす水文過程のモデル化を要する。

こうした課題を解決し、斜面ハザード評価システムを構築するための研究フレームワークを図 2 に示した。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および尾根型斜面での土層厚調査によって決定し、土層の厚みの

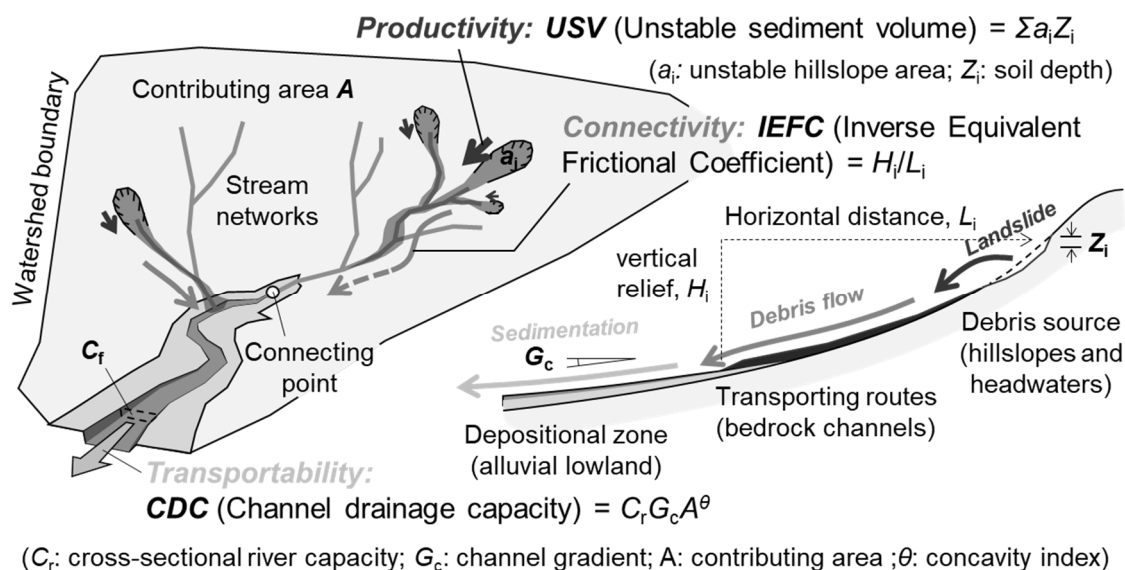


図 1. 流域における土砂の生産と輸送の概念。

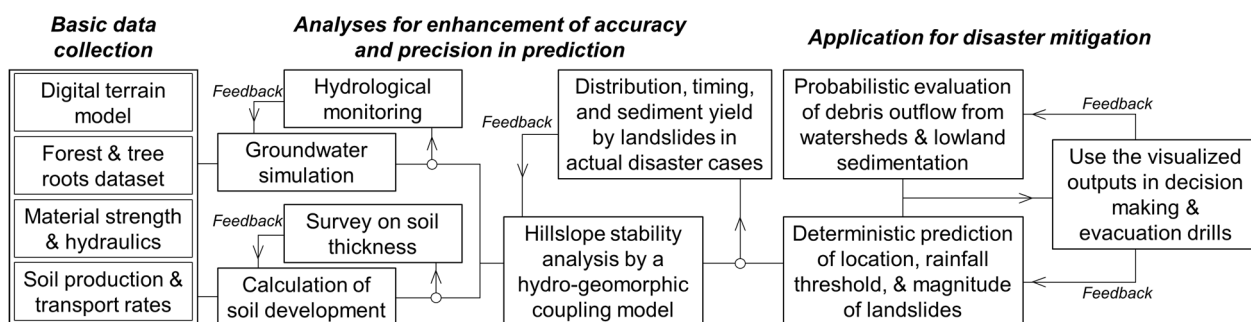


図 2. 斜面ハザード評価システム構築のための研究フレームワーク。

空間分布を計算する。計算結果は実際の谷頭凹地での土層の厚みに照らして検証する。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拡がり进行评估する。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。得られた結果は、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。こうした決定論的なモデルは、内在するパラメータに不確かさを持つため、条件を変えた多数の場合での出力を確率論的に評価する。モデルの出力としてのハザード評価と予測は、最終的には、実践的な避難訓練や意思決定訓練に供し、ユーザーからの多角的なフィードバックを取り入れてブラッシュアップを検討することになる。

このフレームワークに沿った研究の推進には、学際的な研究体制が必要となる。土層の発達モデリングと計算は、流域斜面の地形過程について研究を蓄積してきた防災研究所が担い、風化に伴う地形材料の物性変化については地球環境学堂の土壌学研究室の協力を得て進める。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および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は、東南アジア地域研究所において実証的に流域水文学と地誌的社会学の研究を進めてきた研究者の参画を得て進める。

3. 研究の現状と今後の課題

現時点で、斜面ハザード評価のプロトタイプモデルを構築することができ、地形踏査と水文観測および必要な試料の化学分析や土質試験を重ねることでパラメータを決定して、実際の発災事例と対照することで、予測の精度・確度を検証する段階に至っている（図3）。崩壊発生場の予測的中率は約6割程度で、生産土砂の規模は、不安定基準安全率のチューニングによって±20%以内の確度にまで高めることができることが明らかとなった。空間的な解像度についても、一般的な表層崩壊の発生状況をおおむね再現できるレベルにまで高まった（図4）。ただし、予測の精度と確度にはまだ向上の余地があり、モデルの改良や適用の方法論の検討も課題として残されている。

まず、表層崩壊を引き起こす水文過程として、モデルには均質土層を想定した中期的な集水効果と短期的な圧力拡散現象が組み込まれているが、実際には土層は不均質であり、その水理性は多様なため、斜面水文過程もその影響を受ける（図5）。具体的には、パイピングが生じている箇所での選択流の発生による排水効果と、選択流路の排水容量超過に伴う急激な間隙水圧の正圧化といった閾値を持つ非線形現象が、モデルに組み込まれていない。多様な空隙を内包する不飽和土層は、降雨入力の大きさによってふるまいを変える。降雨入力小さければ、濡れ前線降下が卓越し、一定以上の降雨強度があれば封入空気を伝達物質とする圧力拡散が生じる。これ以降、流出波形は、不飽和帯における鉛直浸透に伴う降雨波形変換を反映する。

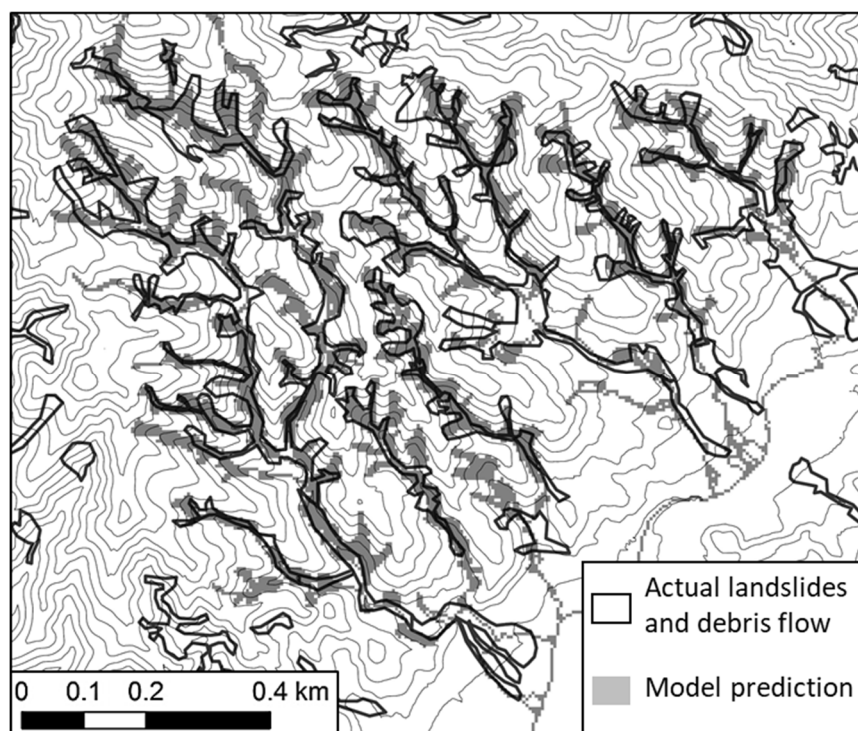


図3. モデルによる表層崩壊—土石流の発生予測と検証の例。

(A) Model prediction

(B) Observation

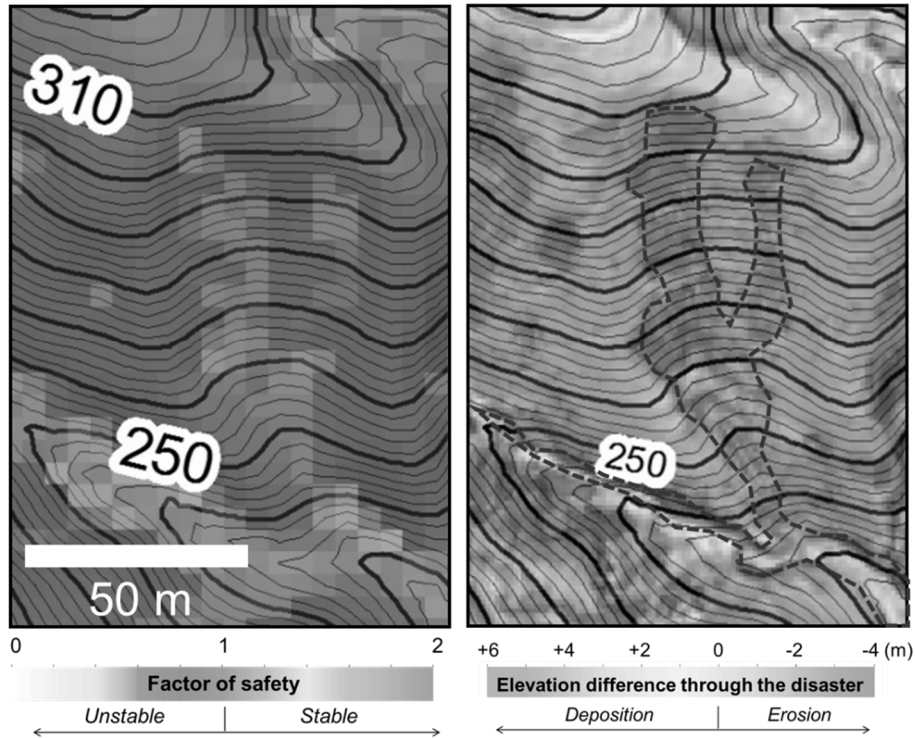


図4. モデルによる不安定領域予測の拡がり予測における空間解像度の検証例

土層が飽和に近づくと、マトリックスからマクロポア内への水の浸入が始まり、パイプを通じた排水により、間隙水圧上昇は抑制される。マクロポアまでもが飽和し、その排水容量を超えるような降水入力をもたらされたとき、間隙水圧は急激に上昇して正圧化し、土層が十分な厚みに発達していれば、表層崩壊が生じる。このことを考えると、表層崩壊発生の際の降雨閾値の予測には、その確度に向の余地が大いに残った状態となっているだろう。

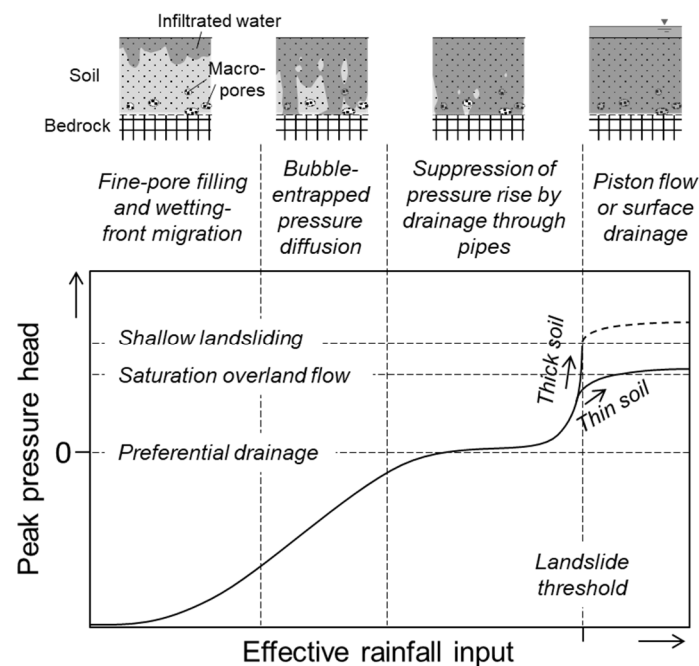


図5. 土層の浸潤状態および水理的不均質性による降雨に対する間隙水圧の非線形応答の概念。

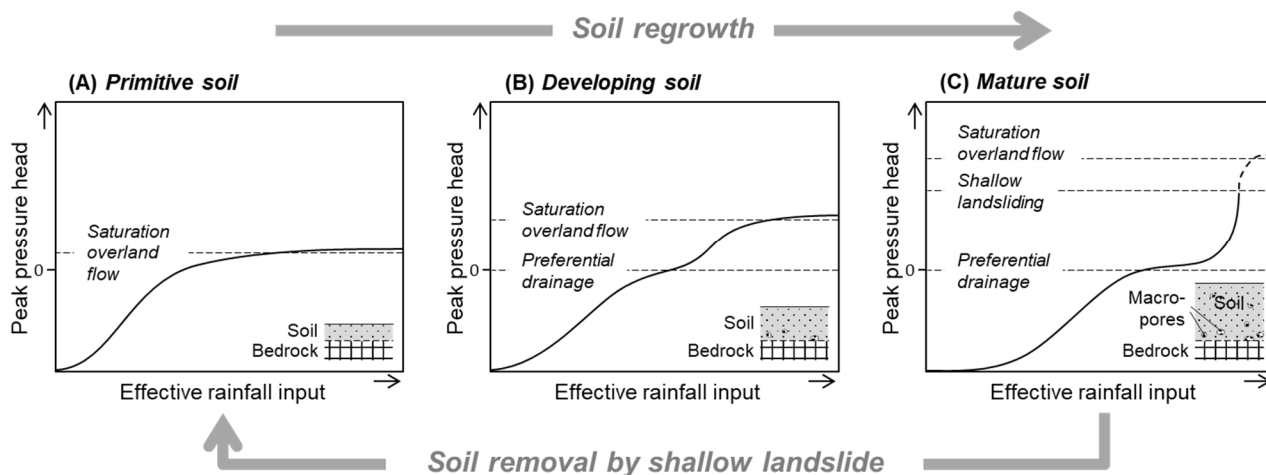


図 6. 土層の発達に伴う水文機能変化の概念モデル.

さらに、こうした土層の不均質性と水理的多様性は、土層の発達とともに時間発展するものと考えられる(図 6)。すなわち、岩盤の風化と土粒子輸送によって土層厚が増大する数百年-数千年の時間スケールでは、植生や土壌生物との相互作用によって土層の水理的性質も変化し、流域における谷頭凹地の水文学的機能が時間的に変化する。森林資源の収奪等により植生の回復が阻害されると、飽和地表流による表面侵食が卓越し恒常的に土砂を排出する裸地を維持する。しかし、表層崩壊の発生後、植生が回復すれば、根系の土粒子保持効果とリター層の雨滴衝撃緩和効果により、土砂流出は抑制され、土層はそこにマクロポアネットワーク(土壌パイプ)を発達させることで排水機能を強化しつつ増厚する。この土層は、パイプ流による排水容量を超える降水浸透により再び表層崩壊し、斜面(谷頭凹地)は更新される。こうした流域の水文学的な特性に対して時間的発展の視点から検討を加えることにより、表層崩壊の発生/非発生を左右する要因に新たな理解をもたらすことが期待される。

もう一つの重要な課題は、決定論的モデリングの出力を確率的な中長期予測へと転換してゆくその方法論である。モデルに内在するパラメータは、観測や分析・試験のデータに基づいて経験的に決定されるものが多い。その値の時空間代表性を検証することは難しく、一定の不確かさを常に内包している。よって、将来予測においては、用いるパラメータ値を不確かさの範囲で変化させ、多数回のシミュレーションを実行するアンサンブル解析の実施が望ましい。さらには、図 7 に示すように、検討対象地域における降雨の強度-継続時間-頻度曲線に基づき、同一再現周期ではあるが異なる波形を持つ降雨を入力として、生産土砂量を算出し、各再現周期での降雨イベントに対する土砂生産量超過確率を算出する方向性が実用的と考えられる。今後、人為的な気候変動に伴って、同等規模の降雨イベントの再現周期は短くなるだろう。すなわちこうしたアプローチより、流域からの土砂流出が将来どれほど増大する可能性があるのかについて、地形、地質、水文、植生環境を考慮したうえでの中長期的な定量評価が実現するものと予想される。

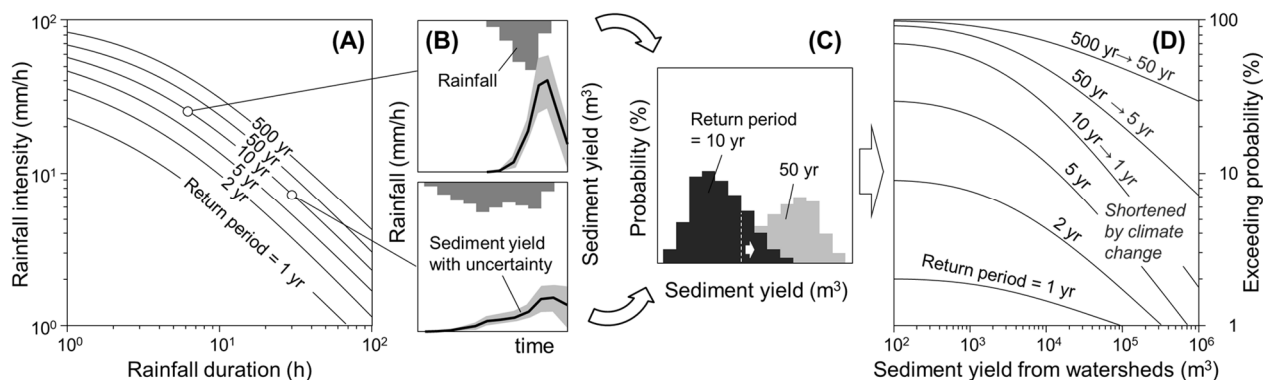


図 7. 決定論的な土砂生産モデルを用いた土砂災害将来予測の確率論的評価の手順.

4. まとめにかえて

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）。

現時点での研究到達点や今後解決すべき課題は、前章までに記述した通りであり、流域での水文・地形・生物過程の相互作用と、その結果としての土砂災害という複雑な現象を反映して、取り組みの視点やアプローチは多岐にわたっている。研究の推進には多分野からの研究者の参画と学際的な体制の維持が不可欠である。本ユニットの特性を活かし、流域圏災害予測における未踏領域の開拓を進めたい。

蛇行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 meandering 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 Bago River, Myanmar is investigated and the suitable river regulation works for meandering rivers are discussed.

Key Words : Meandering river, Bago river, river regulation work, Bago

1. はじめに

低平地を流れる河川は、河岸の土砂の粘着性や氾濫原に繁茂する植生の影響によって流路の分岐が抑制され、蛇行流路を形成する。バゴー川は、バゴーやヤンゴンの都市を流れる蛇行流路であり、ミャンマー南部に位置する。バゴーから約15km北でバゴー川は平野部に流れ込み、流向を南に変える。この流向を南に変える地点は交通の要所となっており、新バゴー都市計画の対象地点となっている。一方、

新バゴー都市計画の対象地点のバゴー川は緩勾配域に形成される沖積蛇行流路となっており、新バゴー都市計画の対象地点は洪水氾濫の頻発地域である。そのため、洪水氾濫と共生する地域に対して社会・経済条件も考えながら持続可能な都市空間となるように、流路変動特性を考慮した河道計画が必要となっている。本研究では、平面二次元の数値シミュレーション¹⁾によって 新バゴー都市が計画されている地域周辺の洪水氾濫特性を検討し、蛇行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. 洪水氾濫特性の検討

3種類の数値シミュレーションを実施した。まず、ザウントゥ堰上流4kmの地点を上流端とし、バゴー市街地上流までの約20kmの区間に対して、バゴー川と周辺氾濫原を含む幅300mの範囲の詳細な解析を実施し、バゴー川の流況特性及び河道からの氾濫特性を検討した。次に、ザウントゥ堰上流2kmの右岸に存在する分派流路の効果の検討を実施した。現存する分派流路の整備による治水対策は、河川の改変が少ないため、整備

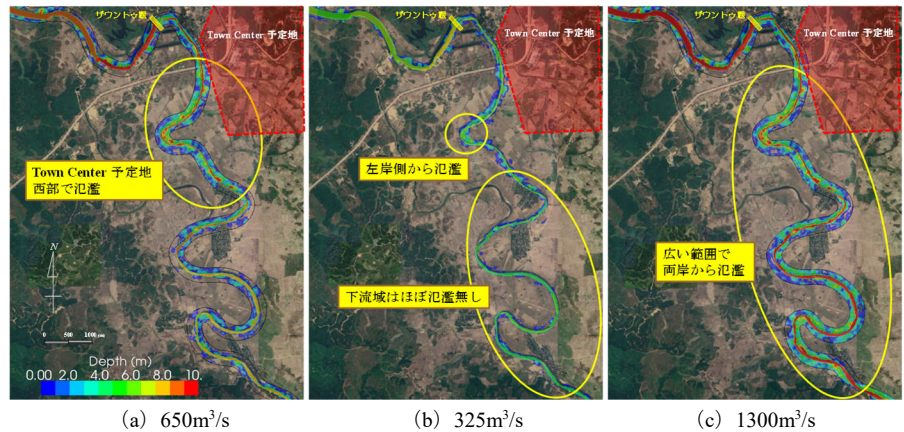


図1 流量の違いによる氾濫特性の違い（水深の分布、背景：Google Earth）

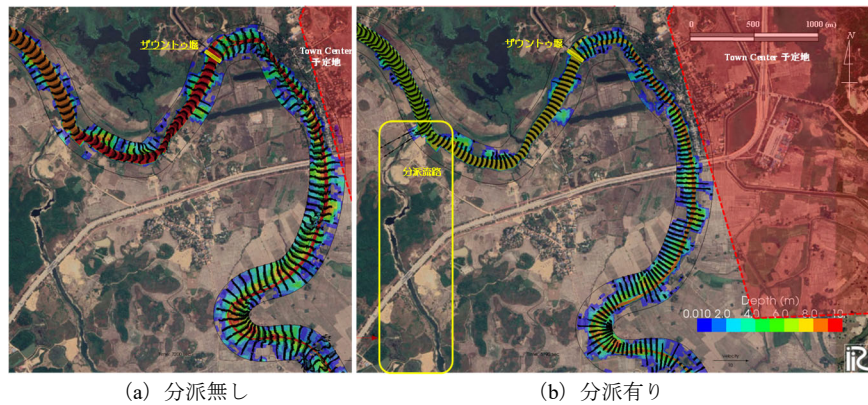


図2 分派流路の効果 (水深と流速ベクトルの分布, 650m³/s, 背景: Google Earth)

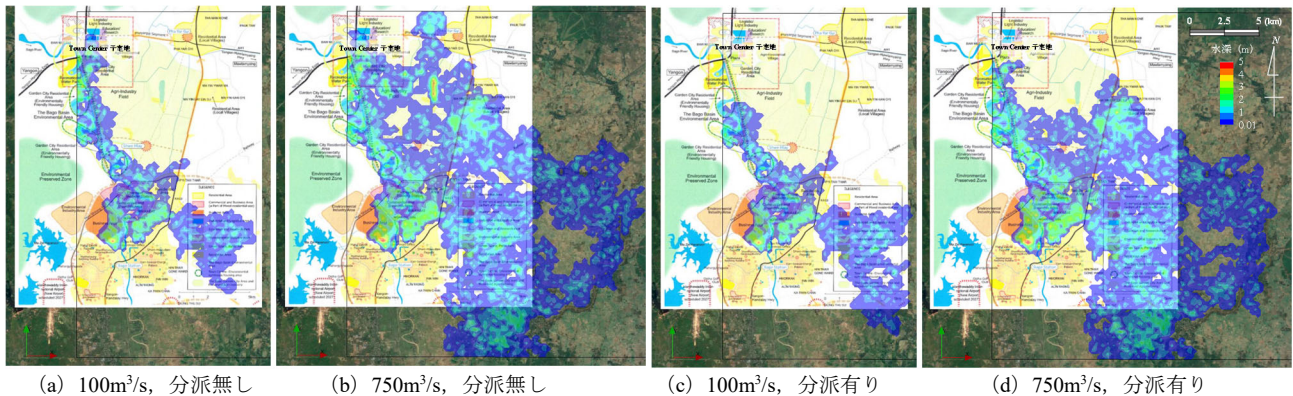


図3 バゴー川から低平地への洪水氾濫 (氾濫発生から5日後の水深, 背景: Google Earth)

に必要な予算が少ないとともに、河川周辺の生態システムへのインパクトも小さい。本解析では、ザウントゥ堰上流2kmの右岸の堤防高さを切り下げ、分派流路に流入した水をザウントゥ堰下流8km地点でバゴー川右岸から戻した。もう一つの解析では、バゴー川から東部の低平地への洪水氾濫シミュレーションを実施し、洪水の氾濫特性を検討した。氾濫流量は100m³/sと750m³/sとした。これは、蛇行による流れの偏流などによって、低水路満杯流量を流した場合でも100m³/s程度の氾濫が発生するためである。また、バゴー川に1300m³/sが流れた場合は650 m³/sが氾濫流に追加され、氾濫流量が合計750m³/sとなる。氾濫開始地点はTown Center予定地の西である。一方、分派流路に水が流れる場合として、氾濫地点を合流点直下流とした計算も実施した。

図1にバゴー川と周辺氾濫原を含む範囲の解析による水深の空間分布を示す。流路満杯流量ではTown Center予定地西部で氾濫が発生している。また、流路満杯流量の2倍では、ザウントゥ堰下流2kmよりも下流域のほとんどの場所で氾濫が発生している。図2に分派流路の効果について検討を実施した結果を示す。図に示すように、分派流路によって分派点下流域の流速の低下と氾濫水深の低下が発生していることがわかる。図3にバゴー川から低平地への洪水氾濫のシミュレーション結果を示す。図3 (b) に示すように、氾濫流量750 m³/sでTown Center予定地西部で氾濫が発生した条件では氾濫流は北にも広がり、Town Center予定地中心部及びTown Center予定地東部まで氾濫流が及んでいる。図3 (a) に示すように、氾濫流量100 m³/sではTown Center予定地では氾濫しておらず、南東への氾濫域も氾濫流量750 m³/sの場合よりも狭い範囲で留まっている。一方、分派流路を考慮すると、Town Center予定地の氾濫域は非常に狭く、Town Center予定地東部には氾濫流は流れていない。つまり、分派流路によってTown Center予定地の浸水リスクを大きく低下できることが期待できる。

3. まとめ

ミャンマー・新バゴー都市計画予定地周辺を対象として、蛇行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について、平面二次元の数値シミュレーションモデルを用いて検討した。ザウントゥ堰上流2kmの右岸に位置する分派流路のTown Center予定地に対する治水効果は非常に高く、分派流路の維持と整備が治水上効果的である。バゴー川は沖積蛇行流路となっており、多様な物理環境を有した自然の河道が残され、対象地域固有の生態システムが形成されていると推察される。そのため、現在のバゴー川の特徴を可能な限り維持しながら洪水対策を進めることができる分派流路の整備が最適な河川整備と考えられる。

4. 参考文献

- 1) Takebayashi, H. (2017): Modelling braided channels under unsteady flow and the effect of spatiotemporal change of vegetation on bed and channel geometry, GBR, 8, 671-702.

Climate Change Adaptations for Floods and Fire Risks in Humid Tropical River Basins

Eva YAMAMOTO 1, Takahiro SAYAMA 1, Osamu KOZAN 2, Mariko OGAWA 2, Kodai YAMAMOTO 1 and APIP 3

1 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2 Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

3 Research Center for Limnology, LIPI, Indonesia

Due to climate change the humid tropical river basin will have more floods in the future, particularly in the downstream part where tropical peatlands are located. In the recent years, the tropical peatlands were opened and drained for agricultural crop or production forest which increase the risk of fire in the area. In this fiscal year, we carried out preliminary study in order to understand how to effectively estimate fire risk in tropical peatlands using hydrological variables and fire indexes. We also analyze and compare the use of satellite products to observed data in this area since data is scarce. As preliminary results, we clarify that the use of soil moisture in addition to precipitation and air temperature is important in estimating fire risks in tropical peatland area.

Key Words: tropical peatlands, floods, fires, humid tropics

1. Introduction

Humid tropical river basins in Southeast Asia harbor half of the world's tropical peatlands (Mishra et al., 2021). The role of tropical peatlands as major carbon sink is vital in regulating climate and protecting it seem to be one of the potential nature-based solution for climate change mitigation (Smith et al., 2019). In contrast, these peatlands are also seen as a viable place to grow crops and timber to gain economic growth. Usually located in between rivers, the tropical peat swamp forests are most of the time flooded and wet in nature. The water-log condition slowed down the decomposition process preserving most of the carbon biomass in the form of peat. Once deforested and drained for growing crops and timber, the dried peat can be easily burned. This has caused major peat fires in the world and triggered numerous international problems.

Productive farmlands and timber located on the peatlands, especially those under big companies are currently regulating groundwater level - low enough to grow crops but high enough to prevent fires. However, there are some areas within plantations which are frequently flooded and drainage is not economically viable anymore. These areas are usually abandoned as an open land or covered by shrubs/grass. Due to low maintenance, these abandoned area experienced fires and floods alternately. Due to climate change, more frequent and deeper floods are expected to affect the land use in the downstream part of major river in humid tropical river basins. Simulation using land use model showed that most of the farmlands which occupied most of the area will turn into shrubs/open land (Yamamoto et al., in prep.). As the abandoned area will increase in the future, so does the area prone to fire.

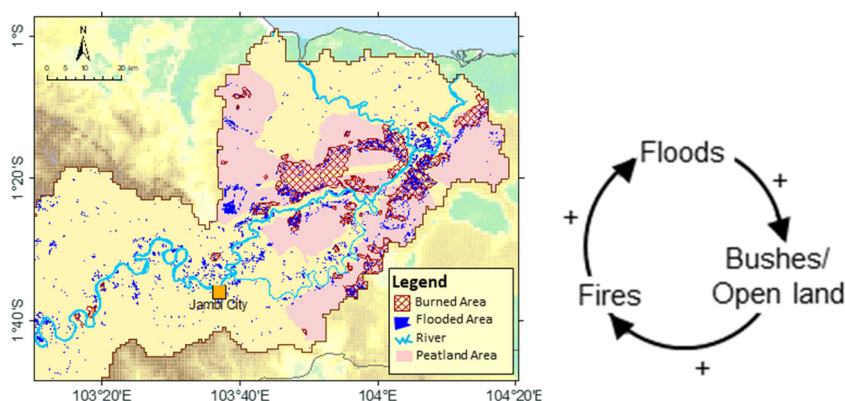


Fig.1 (a) Floods (Sentinel-1) and fires (Min. of Env. & Forestry) happened alternately in tropical peatland (b) Number of fires may increase in the future due to floods and land use change which in return, causes higher floods due to land subsidence.

To date, most of the peatland study did not consider peatland as part of river basin rather as one separate hydrological unit. Further, most of the climate change impact studies consider only fires or floods while the above explanation showed that it is important to address both them simultaneously. Therefore, overall objective of this study is to understand the impact of climate change to the floods and fires risks in the tropical peatlands as an integrated part of major humid tropical river basins. This goal will be achieved through the following stages:

1st Stage: Understanding the temporal and spatial pattern of fire and soil moisture using in-situ and remotely sensed hydrological data;

2nd Stage: Developing hydrological model which can represent present floods and fires risks simultaneously;

3rd Stage: Assess future floods and fires risks using GCM variables.

This report explained research results obtained in the first stage.

2. Study Area

The study area consists of Sumatra and Kalimantan Islands, Indonesia, which encompasses the largest area of tropical peatlands in the lowland. The area has experienced significant land use conversion over 30 years, leading to fire risks. In extremely dry period, the severe fire occurred in the peatland, causing haze issues in neighboring countries.

3. Methodology

Data

We received data from 40 stations managed by Indonesian Peatland Restoration Agency (BRG) and after quality check, we decided to use 32 stations. The data consists of soil moisture, groundwater, and rainfall for every 10 minutes from 2017 to 2019 (covered period varies among stations). As the time period does not coincide with the occurrence of major fires in the region, we decided to use satellite products to extend the data both temporally and spatially.

After comparing some satellite products, we decided to use Soil Moisture Active Passive (SMAP) which was corrected with Multi-Temporal Dual Channel Algorithm (MT-DCA) (Konings et al., 2017) for soil moisture (cm^3/cm^3), ERA5 Daily Aggregates (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2017) for mean air temperature (deg. C), and GSMaP Operational (mm) for rainfall.

Fire Index

In this study we compare some variables and indexes and assess their effectiveness in estimating fire risk. The peat fires are different to wildfires which occur on mineral soil. While the wildfires on mineral soil use biomass or land cover above the ground as fuel source, the peat fires use the ground or peat itself as fuel source. Therefore, the use of fire indexes which are developed for wildfire – mainly based on precipitation and air temperature - should be further examined for use in peat fires. Further, since the peat fires use the ground as source of fuel, the moisture level of the peat is one of important variable in determining the fire risk in the tropical peatlands (Dadap et al., 2019 and Taufik et al., 2015).

In this study we compare several variables and indexes to assess fire risk:

1. Soil moisture threshold using SMAP MT-DCA;
2. Bias-corrected soil moisture threshold using SMAP MT-DCA;
3. Keetch-Byram Drought Index (KBDI) (Keetch and Byram, 1968)
4. Modified Keetch-Byram Drought Index (mKBDI) (Taufik et al, 2015) using SMAP MT-DCA;
5. Modified Keetch-Byram Drought Index (mKBDI) using bias-corrected SMAP MT-DCA.

The bias correction method used in this study is the Empirical Quantile Mapping (eQM) (Amengual et al., 2012). We finally evaluate the effectiveness of these variables/indexes in estimating fire risks by decide on a threshold value so that only 5% of fire events are missed and develop a contingency matrix. Fire events are estimated from burned area based on MODIS MCD64A1 C6.

4. Results and Discussion

This study is still in progress, thus in this report we present some preliminary results. Figure 4a shows the number of fires in 20 years based on MODIS MCD64A1 C6. The map shows that most of the fires in Sumatra and Kalimantan islands occurred at the coastal areas where the tropical peatlands are located.

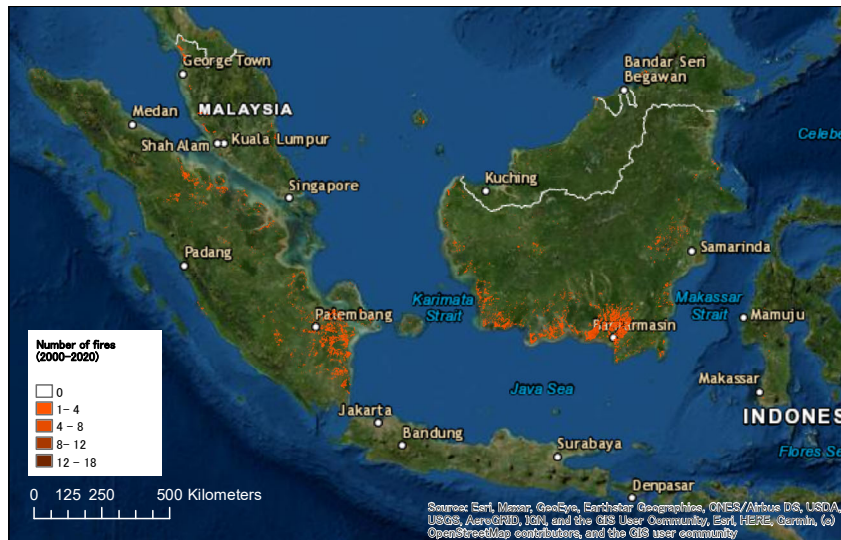


Fig3. Number of fires from November 2000 to December 2020

The SMAP MT-DCA shows high correlation with Pearson coefficient more than 0.5 and p-value less than 0.01 for 10 out of 32 stations. The SMAP corrected by MT-DCA shown better correlation than SMAP/Sentinel-1 in all stations. Most of these stations are located on thin peat. In this study, we used only the stations with high correlation to evaluate the fire index.

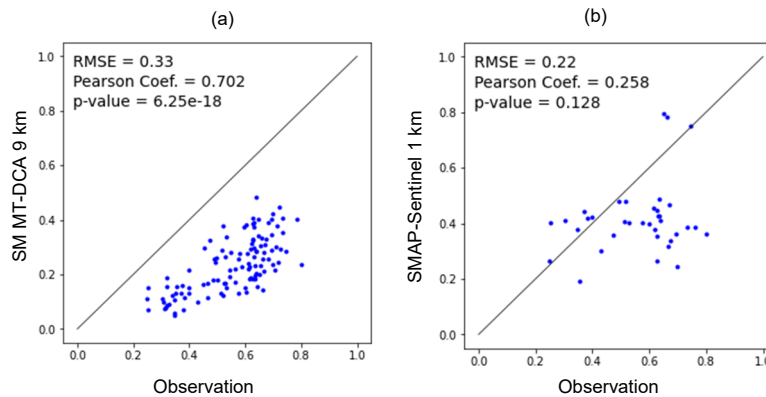


Fig.4 Example of comparison between observation and (a) Soil Moisture MT-DCA (Konings et al.,2017) and (b) SMAP/Sentinel 1 km in BRG 6 Station

To date, research carried out to estimate the fire risks in the tropical peatland were based on either observed data or satellite products (Dadap et al., 2019 and Taufik et al., 2015). There have not been any attempts to compare the effectiveness of fire risk estimation by satellite products and observed data in the tropical peatlands. This study clarifies this by comparing the variables/indexes using the original satellite product and the bias-corrected one.

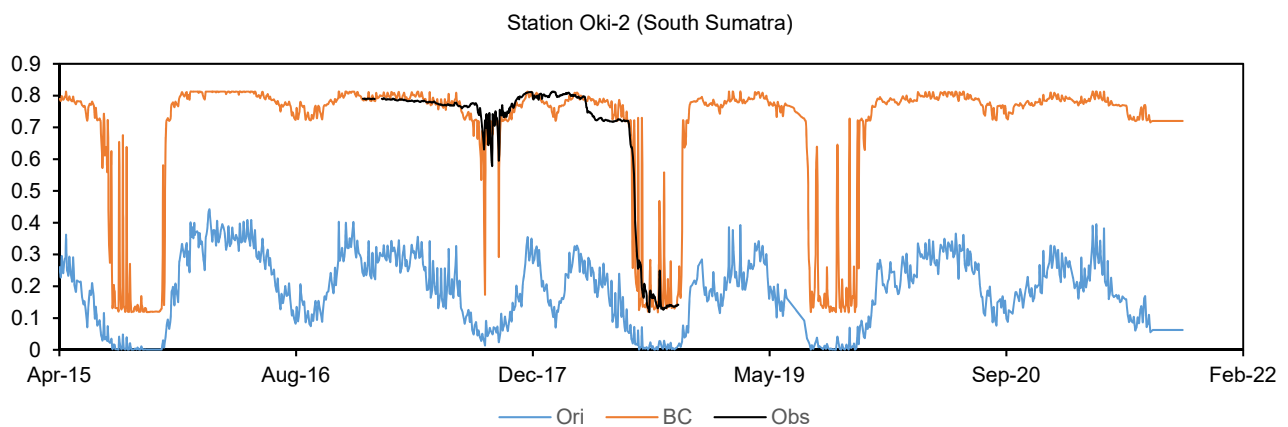


Fig.5 Example of comparison between original and bias corrected data using Empirical Quantile Mapping for Station Oki 2

To date, we have not concluded all results. As preliminary results, we compare the KBDI and mKBDI using bias-corrected soil moisture in some of the stations. One example is shown in figure 6.

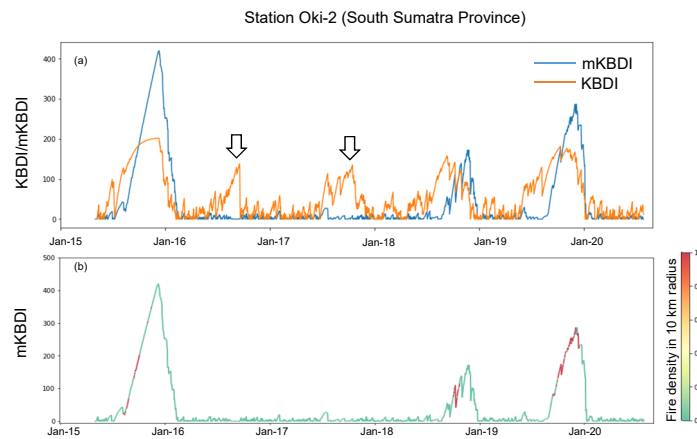


Fig.6 (a) Example of comparison between original KBDI and mKBDI in Sta. Oki-2. KBDI tends to overestimate fire risks (b) Peaks of mKBDI coincides with the high number of fires

We also compare results of 2D index map of mKBDI (non-bias corrected) and KBDI and one example is shown in figure 7.

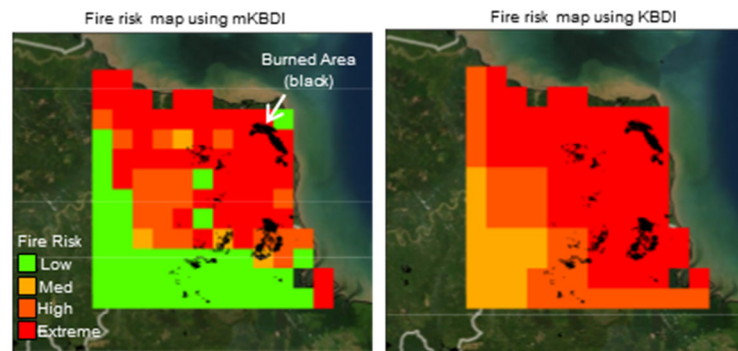


Fig.7 Comparison of mKBDI and KBDI at the downstream of Batanghari River Basin during on 9 September 2019. Burned area is for month of September

5. Conclusions

In this fiscal year, we carried out research as the first step to estimate the climate change impact to the floods and fires in the tropical peatland. The objective is to assess the effectiveness of fire/drought indexes to estimate fire risks in the tropical peatland. In addition to this, since data is very scarce in the region, it is important to clarify the effectiveness of using of satellite products compare to observed data in these indexes.

6. References

- 1) Mishra, S, Page, SE, Cobb, AR, et al. Degradation of Southeast Asian tropical peatlands and integrated strategies for their better management and restoration. *J Appl Ecol.* 2021; 58: 1370– 1387. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13905>
- 2) P. Smith, J. Adams, D.J. Beerling, T, et al. (2019) Land-management options for greenhouse gas removal and their impacts on ecosystem services and the sustainable development goals. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 44. 255-286. [10.1146/annurev-environ-101718-033129](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033129)
- 3) Yamamoto, K, Yamamoto, EMS, Sayama, T. Prediction of future land use change based on SSP and flood damage assessment of a tropical agriculture (in prep.)
- 4) Konings A G, Piles M, Das N and Entekhabi D (2017) L-band vegetation optical depth and effective scattering albedo estimation from SMAP. *Remote Sens. Environ.* 198. 460–70
- 5) Dadap, NC, Cobb, AR, Hoyt, AM, Harvey, CF, Konings AG. (2019) Satellite soil moisture observations predict burned area in Southeast Asian peatlands. *Env. Res. Lett.* 094014
- 6) Taufik, M, Setiawan, BI, van Lanen, HAJ. (2015) Modification of a fire drought index for tropical wetland ecosystems by including water table depth. *Agriculture and Forest Meteorology* 203. 1-10
- 7) Keetch, JJ, Byram, G (1968) A drought index for forest fire control. *Res. Paper SE-38*
- 8) Amegual, A, Homar, V, Romero, R, Alonso, S, Ramis, C. (2012) A statistical adjustment of regional climate model outputs to local scales: application to Platja de Palma, Spain. *Jour. of Clim.* 25 (3). 939-957

ベトナム・メコンデルタの農村社会の持続可能性に対する人為的および自然的要因の影響

Impacts of anthropogenic and natural drivers on the sustainability of rural societies in the Vietnamese Mekong Delta

サメ カントシュ¹, 角 哲也¹, 柳澤 雅之², ドアン バン ビン³

Sameh KANTOUSH¹, Tetsuya SUMI¹, Masayuki YANAGISAWA² and Doan Van BINH³

¹京都大学 防災研究科

Kyoto University, DPRI, Professor

²京都大学 東南アジア地域研究研究所

Kyoto University, CSEAS, Associate Professor

³ベトナム-ドイツ大学

Vietnamese – German University, VGU, Lecturer

The Vietnamese Mekong Delta (VMD) faces water-related challenges such as riverbank erosion, riverbed incision, flood depletion, sediment reduction, and enhanced salinity intrusion. Due to sediment load reduction, riverbank erosion developed due to sand mining and sediment transport. In this regard, we attempt to quantify the long-term eroded sediment volumes from the riverbank in the entire VMD using remote sensing (RS). From October 7 to October 11, 2021, we conducted a field survey to verify RS results to track the bank coordinates and measure the bank's slope(s) along the main river. We found that the riverbanks near the estuaries (about 50-80 km from the river mouth) are alternately eroded and deposited. Riverbank erosion is significant in the islands than on the mainland.

Key Words : Vietnamese Mekong Delta, riverbank erosion, salinity intrusion, sustainable development, sand mining, sediment reduction

1. Introduction

The Vietnamese Mekong Delta (VMD), the world's third-largest delta (Fig. 1), is one of the world's most essential deltas in rice production and fisheries. It is home to approximately 20 million people whose livelihoods depend mainly on Agro-aquaculture, which contributes 18% of the GDP in Vietnam. The agricultural production of the VMD depends primarily on the variation in natural flow regimes and fine sediment flux from the Mekong River, which runs through six countries from China to Vietnam before emptying into the East Vietnam Sea (Fig. 1). However, the sustainable development of the VMD is challenged by various environmental pressures and challenges, as shown in Figure 1, including riverbed incision, riverbank, and coastal erosion, flow regime alterations, fertile sediment reduction, and salinity intrusion.

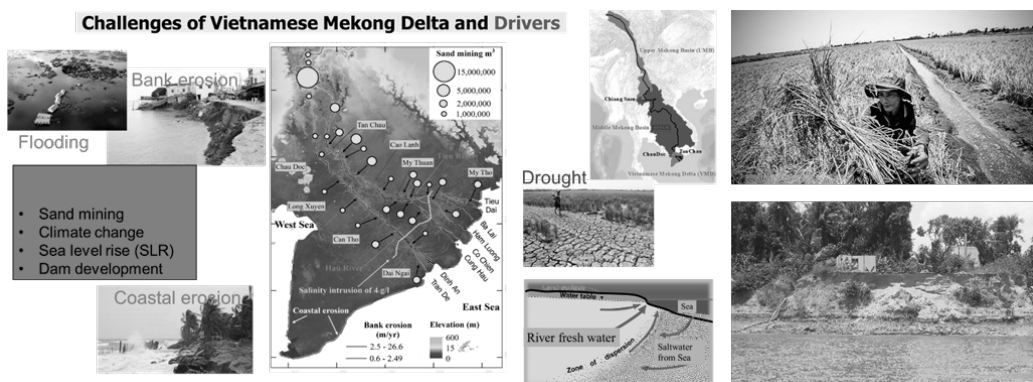


Figure 1: Vietnamese Mekong Delta and effects of different drivers with pictures

The VMD is facing severe riverbank erosion and salinity intrusion, affecting the livelihoods of millions of people (Fig. 1). According to the statistics, riverbank erosion incidents have constantly exacerbated in the last decade, from 100 sites in 2010 to 680 locations in 2019. Salinity intrusion has also significantly increased frequency, magnitude, duration, and affected extent. As a result, later events tend to surpass the prior ones. For example, salinity intrusion in 2016 was the most severe event over the past 90 years, affecting 12 out of 13 provinces in the VMD (>2 million ha in area). However, it was surpassed by another catastrophic salinity intrusion event in 2020. We have conducted various field surveys in Vietnam and installed different instruments for turbidity and salinity that can be typically seen in Fig. 2.

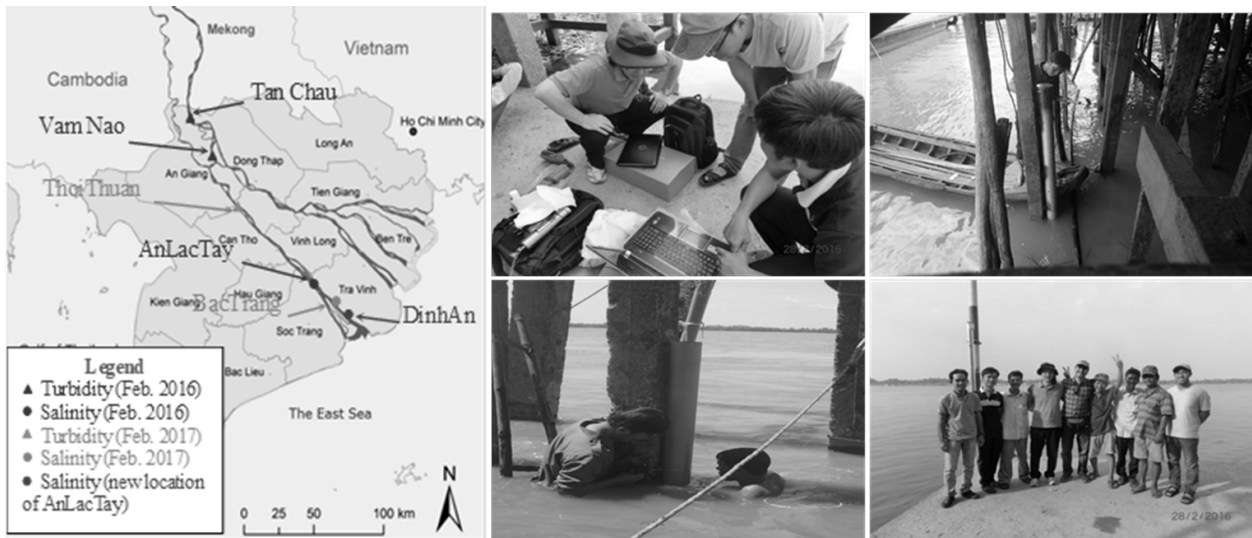


Figure 2: Location map of measurements stations of turbidity and salinity installed at the Mekong Delta and pictures of instruments installation activities.

2. Field Survey

we conducted a field survey from October 7 to October 11, 2021, to monitor the bank coordinates and measure the bank's slope(s) along the main river. We found that the riverbanks near the estuaries (about 50-80 km from the river mouth) are alternately eroded and deposited; however, erosion is dominant (Fig. 3). Erosion takes place even in some vegetated areas (see the right picture in figure 3). We also found that some aquaculture ponds had to leave redundant due to riverbank erosion that cut off some ponds (Fig. 3, left picture). Riverbank erosion is significant in the islands than on the mainland. This is because the geographical setting of the islands is unstable and newly formed as a result of sediment deposition.



Figure 3: Typical erosion patterns in the vegetated area and along the river banks in VMD

We noticed various houses and factories affected by bank erosion along the main river. Typically, the riverbank around the brick factories is stable; however, some places also suffer from severe erosion (Figure 4). The riverbank has types of slopes: single and multiple slopes. Riverbank having a single slope rarely exists, usually at protected sites by local people (Fig. 5, left panel). Riverbank having multiple slopes (Fig. 5, right panel) is predominant. We also found that the riverbank has a half-moon shape in the basal layer underneath an overhang generated in the upper bank (Fig. 6). The reason can be that the non-cohesive sediment in the lower layer is first eroded due to high flow velocity, vortex flow, or waves. In contrast, the upper cohesive layer is more resistant to erosion.



Figure 4: Eroded bank around the brick factories



Figure 5: Single (left) and multiple (right) slopes of the riverbank



Figure 6: Half-moon shape of the riverbank due to undercutting erosion

References

- 1) Binh, D.V., Wietlisbach, B., Kantoush, S.A., Loc, H.H., Park, E., de Cesare, G., Cuong, D.H., Tung, N.X., and Sumi, T.: A novel

- method for river bank detection from Landsat satellite data: a case study in the Vietnamese Mekong Delta, *J. Remote Sensing*, 12, 3298.
- 2) Binh, D.V., Kantoush, S. A., and Sumi, T.: Changes to long-term discharge and sediment loads in the Vietnamese Mekong Delta caused by upstream dams, *Geomorphology*, 353(2020) 107011, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.107011>.
 - 3) Park, E., Loc, H., Binh, D.V., and Kantoush, S. A.: The worst 2020 saline water intrusion disaster of the past century in the Mekong Delta: Impacts, causes, and management implications. *Ambio* (2021). <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01577-z>.
 - 4) Binh, D.V., Kantoush, S.A., Sumi, T., Mai, N.P., Ngoc, T.A., Trung, L.V., and An, T.D.: Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta, *Journal Hydrological Processes*, <https://doi.org/10.1002/hyp.14030>.

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 Kozan,¹ Mariko Ogawa¹, Michiko Hosobuchi²

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TL村において、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. 泥炭地における災害情報の重要性

これまでリアウ州北部における泥炭地火災は、古くから地域に住むムラユ（マレー人）の土地管理が不十分で、農地放棄が問題であるといわれていた。しかし1970年代以降のアブラヤシ栽培、あるいはユーカリなどを栽培するプランテーション拡大の結果、泥炭地が大規模な開発の対象となり、今日広大な泥炭地がプランテーション栽培に利用されている。これらの泥炭湿地の開発は、低生産性、泥炭湿地の沈下、強酸性化による土壌劣化、泥炭地火災、泥炭地の荒廃化とその放棄という問題をもたらしている。また、排水された泥炭湿地からは膨大な炭素が排出され地球温暖化の原因にもなっている。またリアウ州の泥炭地政策は1980年代からの国内移住政策の名残もあり、泥炭地において水稻栽培を推奨するなど、中央政府の農林水開発政策と先住のムラユの泥炭地生業との「乖離」がみられた。

研究対象のTL村は漁民の町であり、漁業+林業にて生計が立てられていることに着目し、住民による地域課題の発見と泥炭地の管理方法（泥炭地の仕組み、水の管理、林業とビジネス）の学習のためのプログラムを策定し実施した。また、並行して、パーム油価格の変動時の、収入確保プログラムとして屋敷地を利用した家庭菜園プログラムを行った。また本地域はマレーシアとの国境沿いにあり、この地域で伐採された木をマレーシアへ販売するある種の「伝統」があった地域であり、いまでも違法伐採（輸出）が続いている。国境警察の違法操業の取り締まりが厳しくなったことで、住民自身が地域間の違法操業はしなくなったものの、外から入ってきた人による違法伐採は後を絶たない。また違法伐採で侵入した人の火の不始末での火災も多発していた経緯があった。それゆえ、違法伐採を防ぐ取り組みおよび、火災のパトロールを住民主体でルーチン化し、平時での水位観測、堰の強度、乾燥地域の観察等を徹底した。これらは行政、警察、在地企業と協力した結果であり、現在も継続している。

泥炭荒廃地は人が入りにくい場所が多く、発見と消火活動が遅れ、結果的に広範囲になることが多い。プ

プロジェクト開始当初は、本地域でも泥炭地問題から距離を置く住民が多く、消火が遅れることも多かった。そこで住民自身の所有地に関する注意を喚起するために、調整員および現地スタッフが常時滞在し住民を対象に泥炭地管理についてディスカッションを行った。また、小学校と連携して泥炭地における防災教育も行った。結果、TL 村ではほぼ 9 割の住民が平時の火災対策について理解し、レーダーから得られた雨量データを元に日常生活の中で泥炭地管理を行うようになった（図 1 参照）。村内では事業実施期間に 2018 年と 2019 年の小規模火災（ぼや程度）を除き、大規模な火災は発生していない。現在は消防団とともにドローン画像やレーダー情報を活用した防火活動を行っている（図 2 参照）。

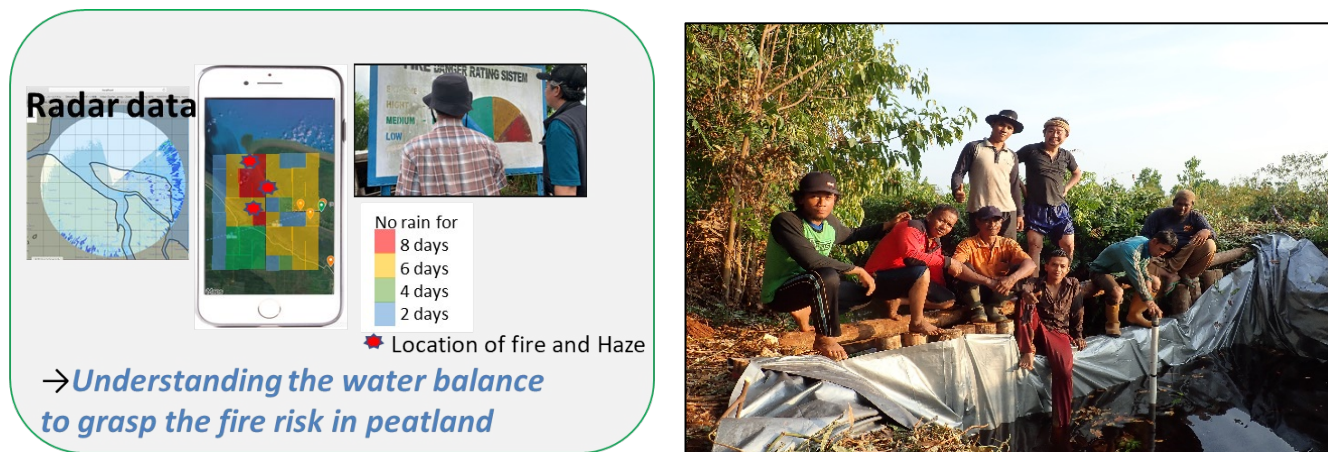


図 1 気象レーダーで推定した雨量分布（左）と住民による堰の建設（右）

Deteksi kebakaran lahan dengan drone



図 2 2018 年 2-3 月に発生したボヤのドローン空撮画像と MPG による消火活動

3. 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る。TL 村があるリアウ州北部は降水量の季節変動が大きく、村単独では地下水位をコントロールすることが難しいことから 2020 年 2 月に設置した気象レーダーをもとに推定した雨量情報を提供し、周辺の企業が村の水管理へ協力するという関係を構築した。

参考文献

- 1) Kozan O., M. Hosobuchi, T. Kameoka, 2021: Chapter 25 Case Study on Community-Based Water Management in Tropical Peatland, Tropical Peatland Eco-management, Springer Singapore
- 2) Kameoka T., O. Kozan, S. Hadi, Asnawi, Hasrullah, 2021: Monitoring the groundwater level in tropical peatland through UAV mapping of soil surface temperature: a pilot study in Tanjung Leban, Indonesia, Remote Sensing Letters 12(6) 542-552
- 3) 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
- 4) 塩寺さとみ, 伊藤雅之, 甲山治 (2020) 熱帯泥炭湿地林の人為的攪乱とその回復可能性, 日本生態学会誌 70, 15-29, doi:10.18960/seitai.70.1_1

東南アジアにおける薬物使用者の持続的な社会的包摂に向けた方策 Strategies for sustainable social inclusion of people who use drugs in Southeast Asia

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

This study aimed to assess the well-being of people who use drugs (PWUD) in Southeast Asia in light of human rights. A cross-sectional survey was done in the Philippines comparing PWUD and comparison group using the Human Rights-based Well-Being Checklist (HRWC). A total of 674 participants were recruited; 272 among them were PWUD, whose most common primary drug was methamphetamine with a median duration use of 3 years. PWUD showed a worse state of well-being, particularly in inequality due to sex/gender, age, race or ethnicity, disability, as well as lack of respect, independent decision-making, and internet access. Our study revealed that PWUD experience a double burden of discrimination, not only related to drug use but also their identity.

Key Words: social inclusion, drug use, Southeast Asia, human rights, well being

1. Introduction

In 2015, the United Nations General Assembly adopted the Sustainable Development Goals (SDGs), a set of international priorities for the period up to 2030. In Goal 3, 'Promote mental health and well-being' and 'Strengthen prevention and treatment of substance abuse' were newly added as priority targets. The SDGs are based on the principle of 'leaving no one behind' by reaching out first to 'marginalised populations' that have been hard to reach through national policies and practices. In particular, the social inclusion of marginalised populations, including people with disabilities, the elderly, migrants, and people in contact with the criminal justice system, is a significant issue.

People who use drugs (PWUD) commonly face a negative spiral of marginalisation throughout their life course. Adverse childhood experiences (e.g. abuse, neglect, and parental conflicts) predict the initiation of illicit drug use¹. Socioeconomically deprived populations are more likely to develop drug use disorders from occasional or non-harmful drug use². PWUD frequently experience stigma, discrimination, and social exclusion in various life domains from education, employment, housing, marriage to healthcare³⁻⁵. Incarceration and forced rehabilitation of PWUD remain a common practice in many parts of the world, despite recent trends of reformation towards more permissive drug policies⁶.

The well-being of PWUD in Southeast Asia is highly concerning due to the ongoing hard-line anti-drug policies, which worsen the above-mentioned situations related to drug use. The majority of the nations in Southeast Asia have been promoting a zero-tolerance approach towards drugs, which has been supported by the Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) and neighbouring influential countries like Japan, South Korea, and China⁷. Recent populist leaders have further strengthened the prohibitionist regime⁸. Consequently, evidence-based harm reduction and treatment services for PWUD have been hindered in the region. The intensification of law enforcement approaches brought about severe consequences on economic, health, and social issues and jeopardised the safeguarding of human rights^{9,10}.

Despite the urgency and criticality of the concerns in Southeast Asia, there is insufficient knowledge regarding the well-being of PWUD. When measuring it, quality of life, mental health ¹¹, or narrowly-defined human rights indicators related to drug use have often been used ¹². Although these studies depicted the condition to some extent, a more comprehensive understanding of well-being from a human rights perspective is necessary as adversities that PWUD are facing could be more far-reaching. Therefore, this study aimed to assess the well-being of PWUD in light of the international human rights standards in the Philippines and Indonesia through comparison with that of community comparison who has no history of drug use. The Philippines and Indonesia were chosen as both countries employed hard-line anti-drug policies. Such assessments will enable us to identify specific areas of needs held by PWUD that are not being met and monitor their improvement in the era of the SDGs.

2. Methods

Design and setting

This report focuses on data from the Philippines, where the Duterte administration has enacted an anti-drug campaign aiming to 'neutralise drug personalities nationwide', which targets drug-affected barangays and major cartel-like syndicates since June 2016. The so-called 'War on Drugs' has been a centrepiece of the administration's populist policy with substantial public backing. Yet, it has also attracted criticism from international rights groups due to the killings of suspected PWUD and drug dealers. The death toll estimate ranges from 6,600 casualties reported by the Philippine National Police ¹³ to as high as 27,000 by human rights groups ¹⁴—the vast majority of whom resided in the nation's poorest urban neighbourhoods.

We conducted a cross-sectional survey on two groups: PWUD and comparison participants. Data collection was carried out in Muntinlupa, an urban city located in the southern part of the National Capital Region, comprising eight districts. Police officers inspected the residences of suspected drug users and dealers in operations known as '*Oplan Tokhang*'. As of January 2017, 9,351 people had admitted drug involvement to the police. From 2016 to 2017, mass media coverage reported that at least 25 people were killed in Muntinlupa in relation to the War on Drugs, which constituted 5 deaths per 100,000 people or 1.3% of all deaths in the National Capital Region ¹⁵.

Participants

PWUD were recruited by two methods. First, current and former participants who had voluntarily participated in the government rehabilitation programme were referred by collaborating social workers. Second, we also recruited individuals directly from the community via the assistance of lay health workers (LHWs) who have substantial knowledge of residential characteristics in their respective districts. Relevant to our objective, the government programmes and LHWs tend to reach people on relatively low incomes. Thus these recruitment methods are conducive to the enrolment of PWUD with low socioeconomic status. The LHWs also recruited comparison participants. To closely approximate the actual city demographics ¹⁶, LHWs were asked to recruit participants with a male-to-female ratio of 1:1 and those aged 18–29, 30–39, 40–49, and over 50 with a 3:3:2:2 ratio, respectively. The LWH assistance also allowed the recruitment of comparison participants with comparable economic strata to the PWUD group.

PWUD and comparison participants had three eligibility criteria: (1) ≥18 years old; (2) currently residing in the community and not enrolled in residential care; and (3) no communication difficulties that would hinder informed consent or data collection. For PWUD, a self-reported lifetime drug use criterion was added, with 'drug use' defined as having ever used illicit drugs.

Data collection

Data collection was conducted using a computer-assisted questionnaire in a private room in the City Health Office. When necessary, trained research staff assisted illiterate participants by reading the questions aloud and/or typing their answers.

Demographics. Age was calculated in years based on the reported date of birth. Regarding gender, the participants were asked to choose from among male, female, or gender diverse. Marital status was selected from among the following options: married, domestic partnership, widowed, annulled, separated, or never married.

Socioeconomic status. Data on total years of formal education and monthly 'take-home' money were collected. The income variable was split at 9,500 pesos, based on the minimum wage per day on 20 workdays per month. As for household economic status, participants were asked to pick items that they owned in their

household from a specified list. The number of owned items was used for the analysis.

Well-being. The Human Rights-based Well-being Checklist (HRWC) ¹⁷ was used to assess the state of well-being in light of human rights. HRWC is a self-administered validated questionnaire developed based on the Convention on the Rights of Persons with Disabilities. It has 36 items to be rated on a five-point Likert scale.

Statistical analyses

Descriptive data were compared between the PWUD and the comparison group using a non-paired t-test and Wilcoxon signed-rank test for ordinal and continuous variables as well as chi-square and Fisher's exact tests for categorical variables. Analyses were conducted using Stata/IC 16.1 (StataCorp, College Station, TX, USA). The significance level was set at <0.0013, obtained by dividing 0.05 by 36, the number of items in HRWC based on the Bonferroni method for correcting multiple comparisons.

Ethical considerations

All potential participants received written information in simple language about the study purpose, methods, voluntariness of participation, and the right to withdraw at any time. Informed consent forms were read aloud to ensure that potential participants could make a voluntary choice regardless of their literacy level. All participants provided written informed consent. All data were de-identified, stored confidentially, and accessed by Japanese researchers who are not affiliated with the Philippine government. Ethical approval was obtained from the Ethical Committee of the authors' university.

3. Results

Initially, 292 PWUD were approached for recruitment, but four were ineligible, six declined due to privacy concerns, and ten with missing data were excluded. The final number of PWUD whose data were analysed was 272, comprising 105 from the rehabilitation programme and 167 from the community. For the control group, 412 people were approached, but five declined due to time constraints, and five with missing data were excluded, leading to 402 control participants whose data were analysed. The majority of participants (61%) were enrolled from two of the most underdeveloped districts within Muntinlupa.

Compared with the controls, the PWUD were more likely to be male (63 vs 44%), never married (62 vs 43%), have a shorter average period in education (8.7 vs 11.1 years), and have fewer median household items (4 vs 5 items) (Table 1). Both groups did not differ in their income—more than 80% of participants had a monthly income that was less than the minimum wage.

The two most commonly used primary drugs were methamphetamine (70%) and cannabis (28%) (Table 2), with a median duration of regular drug use of three years. More than half (53%) of the PWUD reported

Table 1. Comparison of demographics and socio-economic status between comparison group and people who use drugs

	Comparison group		People who use drugs		<i>p</i>
	n = 402		n = 272		
Demographics					
Age, <i>M</i> (<i>SD</i>)	35.7	(12.6)	35.5	(11.3)	0.808 ^a
Gender, <i>n</i> (%)					
Male	175	(43.5)	171	(62.9)	<0.001 ^b
Female	226	(56.2)	99	(36.4)	
Gender diverse	1	(0.3)	2	(0.7)	
Marital status, <i>n</i> (%)					
Married/ Domestic partnership	210	(52.2)	82	(30.1)	<0.001 ^c
Widowed/ Annulled/ Separated	21	(5.2)	21	(7.7)	
Never married	171	(42.5)	169	(62.1)	
Socio-economic status					
Years in education, <i>M</i> (<i>SD</i>)	11.1	(2.4)	8.7	(2.7)	<0.001 ^a
Individual income, past 30 days, <i>n</i> (%)					
< Minimum wage	338	(84.1)	224	(82.4)	0.555 ^c
≥ Minimum wage	64	(15.9)	48	(17.6)	
Number of household items, <i>Mdn</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)	5	(4, 5)	4	(2.5, 4)	<0.001 ^d
Private toilet, <i>n</i> (%)	385	(95.8)	246	(90.4)	
Television, <i>n</i> (%)	367	(91.3)	223	(82.0)	
Telephone (including mobile phone), <i>n</i> (%)	361	(89.8)	193	(71.0)	
Electric or gas stove, <i>n</i> (%)	336	(83.6)	178	(65.4)	
Refrigerator, <i>n</i> (%)	273	(67.9)	71	(26.1)	
Car, <i>n</i> (%)	22	(5.5)	2	(0.7)	
Do not have any, <i>n</i> (%)	1	(0.2)	11	(4.0)	

M, Mean; *SD*, Standard deviation; *Mdn*, Median; *Q*₁, the first quartile; *Q*₃, the third quartile.

Percentages may not add up to 100 due to rounding.

^a Non-paired t-test: age, *t* (672)= 0.24; years in education, *t*(72)= 12.15. ^b Fisher's exact test. ^c Chi squared test: marital status, *X*²(2, N=674) = 32.2; individual income, *X*²(1, N=674) = 0.35; ^d Wilcoxon signed rank test: number of household items, *z* = 10.48.

current drug use.

Among the 36 items is the HRWC, Wilcoxon signed-rank tests revealed seven items as having a significant difference, all in which PWUD showed a worse state of well being compared to the comparison group (**Table 3**). As indicated by the Z scores, the most striking differences were found in an item regarding inequality due to sex/gender. 39% of PWUD reported that they were frequently (i.e. 'quite often', 'very often', or 'always') suffering from inequality and discrimination due to their sex/gender, which was over three times higher in the comparison group (11%) ($p < 0.0001$). Likewise, a greater proportion of PWUD, compared with the comparison group, was frequently suffering from inequality and discrimination due to age (34% vs 13%) ($p < 0.0001$), race or ethnicity (24% vs 8%) ($p < 0.0001$), and disability (77% vs 56%) ($p < 0.0001$). The results also showed that a smaller proportion of PWUD 'always' or 'very often' perceived being respected as a capable person in comparison to the comparison group (51% vs 70%) ($p = 0.0001$). Lastly, a higher proportion of PWUD reported that they could 'never' or 'seldom' make decisions about body and mind without interference from others (26% vs 11%) ($p < 0.0001$) and can access the internet or other new technologies (29% vs 19%), compared to the comparison group ($p < 0.0001$).

4. Discussion

Numerous studies reported that PWUD more frequently experience stigma and discrimination due to their drug use behaviour³⁻⁵. However, our study uncovered a broader scope of exclusion: PWUD perceived more substantial discrimination due to multifaceted factors unrelated to drug use, mainly their identity, such as gender, age, ethnicity, and disability status when compared to a group who has no history of drug use. These findings reveal that PWUD exists in an even more precarious position within the social construct, where they are at risk of being excluded due to their identity just because they have ever used psychoactive drugs.

Identity-based discrimination might have been intensified as drug use does not conform with expected identity roles already established within society. For example, females are expected to act timid and non-promiscuous, while males are expected to be household leaders and breadwinners¹⁸. In terms of age, adults are expected to be disciplined and not swayed with desires such as recreational drugs, while youngsters are also expected to be well-behaved and stay in schools¹⁹. The fact that someone uses psychoactive drugs could immediately betray all such expectations in the eye of society, and PWUD themselves are also well aware of this because they might have received such criticisms from their family and surroundings. HRWC assessment also showed that more PWUD perceived themselves as not being respected as capable and not being independent in making their own decision.

Future studies should investigate how such identity-based discrimination towards PWUD is constructed in society. It is hoped that such elucidation would bring public attention and more robust support toward the inclusion of PWUD in society in a sustainable manner, particularly in the Philippines and Southeast Asia as a whole.

Table 2. Drug-use related conditions among people who use drugs

		<i>N</i> = 272
Type of drug primarily used, <i>n</i> (%)		
Methamphetamine	191	(70.2)
Cannabis	76	(27.9)
Cocaine	2	(0.7)
Ecstasy	2	(0.7)
Heroin	0	(0.0)
Inhalant	1	(0.4)
Years of regular use, <i>Mdn</i> (Q_1 - Q_3)	3	(2, 10)
Used drugs, past 30 days, <i>n</i> (%)	143	(52.6)

Q_1 , the first quartile; Q_3 , the third quartile.

Table 3. Comparison of the Human Rights-based well-being Checklist (HRWC) responses between comparison group and people who use drugs.

		Percentages					Z	p ^a
		Never	Seldom	Quite often	Very often	Always		
I am suffering from inequality & discrimination due to my sex/gender. (R)	Comparison	86.6	3.0	8.5	1.7	0.3	-7.7	< 0.0001 *
	PWUD	61.0	6.3	25.0	5.2	2.6		
I am suffering from inequality & discrimination due to my age. (R)	Comparison	82.6	4.7	10.5	2.0	0.3	-7.2	< 0.0001 *
	PWUD	58.1	7.7	26.1	6.6	1.5		
I am suffering from inequality & discrimination due to my disability. (R)	Comparison	33.6	10.7	41.8	11.3	2.7	-5.7	< 0.0001 *
	PWUD	9.1	13.7	57.4	15.9	3.9		
I am suffering from inequality & discrimination due to my race or ethnicity. (R)	Comparison	88.1	4.2	6.0	1.5	0.3	-6.3	< 0.0001 *
	PWUD	68.8	7.0	18.0	3.3	2.9		
I am respected as a capable person.	Comparison	14.4	4.2	11.4	32.1	37.8	4.0	0.0001 *
	PWUD	11.0	7.4	30.9	27.2	23.5		
I can move around in this city without much barriers.	Comparison	17.4	6.0	20.9	29.9	25.9	-1.3	0.1863
	PWUD	8.8	7.4	28.3	26.1	29.4		
I can use necessary transportation to participate in social life.	Comparison	13.2	8.2	21.6	31.3	25.6	1.9	0.0619
	PWUD	14.3	6.6	32.4	25.7	21.0		
I can access necessary information to participate in social life.	Comparison	11.2	4.5	22.4	33.6	28.4	1.7	0.0851
	PWUD	8.8	7.0	33.8	24.3	26.1		
I can access the internet and other new technologies.	Comparison	14.7	4.0	16.4	31.1	33.8	4.2	< 0.0001 *
	PWUD	20.2	8.5	25.4	21.7	24.3		
I can ask for support from others when needed.	Comparison	11.4	6.7	21.9	31.6	28.4	2.0	0.0418
	PWUD	10.7	7.0	33.8	25.4	23.2		
I can participate in decision-making related to my community and nation if I want.	Comparison	7.7	7.7	29.4	35.1	20.2	1.5	0.1288
	PWUD	8.8	4.8	42.3	23.9	20.2		
I feel threats to my life in my daily life. (R)	Comparison	31.3	7.0	32.3	19.7	9.7	0.0	0.9755
	PWUD	23.9	6.3	50.4	12.5	7.0		
I think I can protect my minimum safety when disasters happen in this city.	Comparison	6.5	8.0	24.4	31.8	29.4	-0.7	0.4833
	PWUD	5.9	5.9	30.2	22.4	35.7		
My legal decision-making will be obstructed by others. (R)	Comparison	31.6	9.0	24.9	22.9	11.7	-2.0	0.0442
	PWUD	22.4	6.6	36.8	18.4	15.8		
I can protect my money and assets without interference from others.	Comparison	7.5	7.2	17.4	32.3	35.6	1.8	0.0657
	PWUD	10.3	5.2	28.7	22.4	33.5		
I can access legal services such as the court when needed.	Comparison	18.4	7.2	24.9	27.6	21.9	-1.6	0.1167
	PWUD	9.6	8.8	32.4	22.4	26.8		
I can be detained unlawfully. (R)	Comparison	54.2	6.2	14.2	15.7	9.7	0.6	0.5515
	PWUD	54.0	5.9	21.7	11.0	7.4		
I can be subject to physical or sexual violence. (R)	Comparison	64.7	6.0	11.0	12.4	6.0	-0.5	0.6135
	PWUD	60.7	6.6	19.5	28.4	4.8		
I can make decisions on my body and mind without interference from others.	Comparison	6.6	4.4	26.1	4.4	39.7	4.6	< 0.0001 *
	PWUD	18.4	7.2	21.6	23.2	24.4		
I can decide where to live.	Comparison	11.7	3.5	13.9	32.1	38.8	0.4	0.6565
	PWUD	7.7	4.4	25.0	23.2	39.7		
I can make my opinion heard when needed.	Comparison	3.7	3.0	15.4	36.1	41.8	3.2	0.0014
	PWUD	3.7	3.3	30.2	28.7	34.2		
I can keep my privacy when I wish to.	Comparison	4.5	2.7	16.4	37.8	38.6	2.7	0.0062
	PWUD	7.4	4.4	27.6	25.0	35.7		
I can participate in fair election.	Comparison	5.0	3.2	7.7	34.8	49.3	1.7	0.0881
	PWUD	7.7	2.9	19.5	21.3	48.5		
I can marry and have a child without much interference from others, if I want.	Comparison	7.5	3.0	9.5	34.8	45.3	-0.7	0.513
	PWUD	5.5	3.3	17.7	21.7	51.8		
I can have/had quality education.	Comparison	8.0	6.0	14.4	33.1	38.6	2.8	0.0045
	PWUD	10.7	7.4	23.9	26.1	32.0		
I can receive necessary health services when I would have a physical health condition.	Comparison	5.2	5.2	15.7	34.6	39.3	1.2	0.2343
	PWUD	2.9	4.8	26.5	29.0	36.8		
I can receive necessary health services when I would have a mental health condition.	Comparison	6.7	5.2	18.2	32.8	37.1	1.4	0.1593
	PWUD	6.6	5.2	26.5	27.6	34.2		
I think I can receive necessary social services to live in community when needed.	Comparison	8.0	4.5	32.6	28.6	26.4	-2.0	0.0437
	PWUD	5.5	5.2	27.9	27.9	33.5		
I can choose my work if I want to.	Comparison	8.0	4.0	25.1	33.1	29.9	0.0	0.961
	PWUD	8.1	5.5	26.5	26.8	33.1		
My work environment is/would be OK (If I'd work).	Comparison	8.5	5.0	19.7	34.3	32.6	-1.8	0.08
	PWUD	4.8	2.6	26.5	24.6	41.5		
My standard of living (food, clothing and housing) is adequate.	Comparison	6.7	2.2	12.9	36.8	41.3	1.0	0.2985
	PWUD	4.8	3.7	25.0	23.9	42.7		
I have access to clean water and toilet.	Comparison	1.7	1.7	8.0	33.6	55.0	0.3	0.7636
	PWUD	1.5	3.3	13.6	24.6	57.0		
I can access/enjoy culture and the arts (including music, films, theatres, museums,	Comparison	3.7	2.7	19.2	32.3	42.0	0.9	0.3915
I can access/enjoy sports.	PWUD	0.7	6.6	25.7	24.6	42.3		
	Comparison	10.5	3.7	23.6	29.6	32.6	-1.0	0.3076
	PWUD	6.3	5.5	25.4	25.7	37.1		
I can enjoy tourism and leisure when I want to.	Comparison	4.0	5.2	25.6	30.4	34.8	1.0	0.3116
	PWUD	4.0	5.5	30.9	26.5	33.1		
I have freedom to keep my culture and religion.	Comparison	2.7	2.7	10.7	27.6	56.2	2.0	0.0458
	PWUD	2.2	3.3	21.0	22.4	51.1		

^aWilcoxon signed-rank test. * $p < 0.0013$. PWUD, people who use drugs.

5. References

1. Hughes, K. *et al.* The effect of multiple adverse childhood experiences on health: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Public Health* **2**, e356–e366 (2017).
2. Socioeconomic characteristics and drug use disorders. in *World Drug Report 2020* (ed. United Nations Office on Drugs and Crimes) 1–30 (UNODC).
3. Room, R. Stigma, social inequality and alcohol and drug use. *Drug Alcohol Rev.* **24**, 143–155 (2005).
4. Kulesza, M., Larimer, M. E. & Rao, D. Substance use related stigma: What we know and the way forward. *J. Addict. Behav. Ther. Rehabil.* **2**, (2013).
5. van Boekel, L. C., Brouwers, E. P. M., van Weeghel, J. & Garretsen, H. F. L. Stigma among health professionals towards patients with substance use disorders and its consequences for healthcare delivery: systematic review. *Drug Alcohol Depend.* **131**, 23–35 (2013).
6. Resources. *The Global Drugs Policy Index* <https://globaldrugpolicyindex.net/resources> (2021).
7. Compulsory treatment and rehabilitation in east and southeast Asia. <https://www.unodc.org/southeastasiaandpacific/en/2022/01/compulsory-treatment-rehabilitation-east-southeast-asia.html>.
8. Lasco, G. Drugs and drug wars as populist tropes in Asia: Illustrative examples and implications for drug policy. *Int. J. Drug Policy* **77**, 102668 (2020).
9. Kramer, E. & Stoicescu, C. An uphill battle: A case example of government policy and activist dissent on the death penalty for drug-related offences in Indonesia. *Int. J. Drug Policy* **92**, 103265 (2021).
10. Sander, G. State sanctioned killing in the name of drugs: Laws, practice and conflicting trends in Asia. *Int. J. Drug Policy* **92**, 103266 (2021).
11. Yamada, C. *et al.* Quality of life among people who use drugs living in poor urban communities in the Philippines. *Int. J. Drug Policy* **93**, 103160 (2021).
12. Stoicescu, C., Cluver, L. D., Spreckelsen, T. F., Mahanani, M. M. & Ameilia, R. Intimate partner violence and receptive syringe sharing among women who inject drugs in Indonesia: A respondent-driven sampling study. *Int. J. Drug Policy* **63**, 1–11 (2019).
13. Tupas, E. Drug war death toll now 6,600 – PNP. *The Philippine Star* (2019).
14. Maru, D. CHR chief: Drug war deaths could be as high as 27,000. *ABS-CBN News* <https://news.abs-cbn.com/focus/12/05/18/chr-chief-drug-war-deaths-could-be-as-high-as-27000> (2018).
15. Atun, J. M. L., Mendoza, R. U., David, C. C., Cossid, R. P. N. & Soriano, C. R. R. The Philippines' anti-drug campaign: Spatial and temporal patterns of killings linked to drugs. *Int. J. Drug Policy* **73**, 100–111 (2019).
16. Philippine Statistics Authority. *Household Population by Age Group and Sex by Province and Highly Urbanized City: National Capital Region.* (2015).
17. 井筒節 *et al.* 「人権に基づくウェルビーイング・チェックリスト (HRWC)」 の有用性に関する研究. 心的トラウマ研究: 兵庫県こころのケアセンター研究紀要 1–7 (2019).
18. Prieler, M. & Centeno, D. Gender representation in Philippine television advertisements. *Sex Roles* **69**, 276–288 (2013).
19. Liwag, M. E. C. D., Alma, S. & Macapagal, M. E. J. How we raise our daughters and sons: Child-rearing and gender socialization in the Philippines. *Philippine Journal of Psychology* **31**, (1998).

企業のESGパフォーマンスに及ぼす金融の役割：日本の事例

Finance in sustainability transitions: Case of Japanese companies

森 晶寿¹, 清水延彦², 稲澤 泉³

Akihisa Mori 1, Nobuhiko Shimizu 2, Izumi Inasawa 3

¹京都大学 地球環境学堂

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

²京都大学 経済研究所

Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University

³立命館大学・経済学部

Faculty of Economics, Ritsumeikan University

Rapid fossil fuel divestment can jeopardize energy security and endanger economic growth, or shift fossil fuel assets to undisclosed companies without any changes in carbon emissions. This research aims to investigate how financial institutions can engage fossil fuel intensive industries to advance reorientation of their business strategy toward carbon neutral, taking Japanese financial institutions as a case. Through data analysis of green bond and interviews, we find that at the initial stage, financial institutions underwrite green bond in response to fossil-fuel intensive companies' initiative to gain new funding for reorienting their business or new carbon neutral projects, but become actively engaged them by issuing green bond to gain financial resources in later stage.

Key Words : *divestment, financial institutions, engagement, reorientation, Japan*

1. はじめに

金融機関や商社、電力・鉄鋼・化学等の化石燃料集約型産業に対して脱炭素化・化石燃料撤退の圧力はグローバルに高まっている。一部の投資家や金融機関は、炭鉱・油田や石炭火力発電の新設・運営から撤退し、炭素集約型工程を切り離すことで対応している。しかし急速かつ急激な対応は、化石燃料価格が高騰して経済に壊滅的な打撃を与えるか、非上場会社に化石燃料資産を移すだけとなって脱炭素化が進まない結果となりかねない。

そこで本研究では、既存金融機関がどのようにグリーンボンド発行・引き受けを通じて化石燃料集約型産業の事業転換を通じた脱炭素化を促しているかを、日本企業の事例分析を通じて解明する。

2. 研究方法

まず環境省のグリーンボンド発行データベースから国内発行体によるグリーンボンド発行事例に関する情報を入手し、それに基づいて発行主体、引受機関、発行金額、資金使途等の関連情報を、当該グリーンボンド発行主体のウェブサイトや年次報告書等から収集して、それらのクロス集計を行った。その上で、これら事例について、グリーンボンド調達資金を脱炭素事業への転換に使用したとみられる特徴的な事例を抽出し、これら事例の発行フレームワークで中核となっているグリーンボンド引受機関と調達資金による実施事業で類型化した。今後、さらに、グリーンボンド引受機関を中心に、グリーンボンド発行の経緯とこれまでの効果に関する聞き取り調査を行う。

3. 得られた知見

グリーンボンド発行の初期段階では、ボンド発行を希望する事業者がグリーンボンド発行で得た資金で実施する事業転換内容や新規脱炭素プロジェクトの内容を事前に決め、持ち込んだと見られる案件が多数を占めており、金融機関が事業転換に関与する余地はほとんどなかったと考えられる。金融機関が自らグリーンボンドを発行し、グリーン融資等を行う資金源を確保するようになって初めて金融機関が事業者の事業転換に積極的に関与できるようになり、脱炭素プロジェクトの知見を蓄積した金融機関によるエンゲージメントが進むことになったのではないかと考えられる。以上について、今後、聞き取り調査を通じてさらなる検証を実施する。

参考文献

- 1) Ministry of Environment Japan, Green Finance Portal, <http://greenfinanceportal.env.go.jp/en/>, [accessed 9 January 2022].
- 2) Hunt, C., Weber, O. (2019). Fossil fuel divestment strategies: Financial and Carbon-Related Consequences, *Organization & Environment* 32(1) 41-61. <https://doi.org/10.1177/1086026618773985>.

持続可能社会創造ユニット 令和3年度 研究成果報告書(2022年3月発行)

Research Report FY2021 / Research Unit for Realization of Sustainable Society (issued in March 2022)

〒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

Research Unit for Realization of Sustainable Society, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011, JAPAN

TEL: +81-774-38-4936 <http://rurss.iae.kyoto-u.ac.jp/>

持続可能社会創造ユニット広報委員会 / 梅村研二, 藤田正治

Public Relation Committee of RURSS / Prof. Kenji UMEMURA, Prof. Masaharu FUJITA