

RURSS

Research Unit for Realization of Sustainable Society

令和4年度 研究成果報告書

Research Report FY2022

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4年度 研究成果報告書

目次

化学研究所

有機フッ素材料の SDA 相分解機構の探索

Exploration of decomposition mechanism of SDA phase of organofluorine materials

長谷川 健 1

ペロブスカイト太陽電池の低コストと便利な封止方法

Low-cost and convenient encapsulation for perovskite solar cells using printed circuit boards

マーディー リチャード ジェームズ 3

直接光励起に基づくイメージング技術

Imaging Technology Based on Direct Excitation

隅田 有人 5

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 7

エネルギー工学研究所

熱・電力可変併給によるバイオマス改質と電力需給平滑化

Biomass Reforming and Smoothing of Electricity Supply-Demand by Variable Combined Heat and Power Supply

八木 重郎 9

生存圏研究所

Char および液化物の同時生産に向けたバイオマス急速熱分解技術の開発—昇温加熱時の触媒効果の検討

Development of Biomass Rapid Pyrolysis Technology for Simultaneous Production of Char and Liquefied Products:

Investigation of Catalytic Effects during Heating at Elevated Temperatures

畑 俊充 11

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

カタブ サダト モハマッド レズク 13

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

熱帯荒廃草原における資源生産に基づく炭素隔離

Grass biomass breeding towards carbon sequestration

梅澤 俊明 20

防災研究所

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 22

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: 水文地形プロセスモデリングの実践と検証

Development of an assessment tool for hillslope hazards by heavy rainfall toward resilient local society: hydro-geomorphological process modeling and its validation

松四 雄騎 25

熱帯泥炭地における洪水と火災の複合災害に関する研究

Compound Disaster of Flood and Fire in Tropical Peatland

山本 エヴァ 29

河床変動を考慮した中流域の蛇行流路河川の最適な河川整備の検討

Suitable river regulation work for meandering rivers in midstream region considering bed deformation characteristics

竹林 洋史 39

持続可能な防災施設としてのグリーンベルトの整備

Greenbelt for Disaster Prevention and Sustainable Development

平石 哲也 41

東南アジア地域研究研究所

水文・気象情報を活用した熱帯泥炭地火災のリスク評価

Risk Assessment of Tropical Peatland Fires Using Hydro-Meteorological Information

小川 まり子 43

日本における精神作用物質の下水疫学手法の開発

Development of wastewater-based epidemiology for psychoactive substances in Japan

山田 千佳 47

地球環境学堂

日本の金融機関の脱炭素化対応の持続性

Sustainability of the responses of Japanese financial institutions for decarbonization

森 晶寿 55

有機フッ素材料のSDA相分解機構の探索

Exploration of decomposition mechanism of SDA phase of organofluorine materials

長谷川 健¹, 野平 俊之²

Takeshi HASEGAWA¹, Toshiyuki NOHIRA²

¹京都大学化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

²京都大学エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

The electrochemical reduction technique is employed to challenge molecular decomposition of the SDA packing of PTFE. Infrared ATR spectra of the virgin and electrochemically reduced surfaces of PTFE are compared to find that the helix-reversal defect is relatively decreased unexpectedly. This accompanies an increase of molecular packing, which is found through an increase of the phonon band originated from the CF₂ stretching vibration modes.

Key Words: PTFE, SDA theory, SDA phase, decomposition

1. はじめに

テフロンとして知られるpoly(tetrafluoroethylene) (PTFE)に代表される、全フッ化アルキル鎖を含む化合物は、有機フッ素化合物の中でもとくにperfluoroalkyl substances (PFAS)と呼ばれ、環境負荷の高い化合物群として世界的な注目を浴びている。もともと、化学的に高い安定性を示すPFASは、撥水撥油性など炭化水素にはまねのできない特異で有用な物性を多く持ち、スマートマテリアルの一角を担っている。しかし、環境負荷という点からみると、この化学的安定性は長年放置しても分解されないというデメリットとして受け止められている。

PFASの体内での毒性を含む、数多くの物性を分子構造から理解するうえで、もっとも基本的な考え方をまとめた理論をstratified dipole-arrays (SDA)理論^{1,2)}という。SDA理論によるとPFAS分子は双極子間相互作用によって強く2次元的に凝集し、マクロな物性を発現する。言い換えると、2次元凝集を止めることができれば、物性を大きく変化させることができ、分子レベルでの解体を実現させればリサイクルにも道が開かれる。

本研究では、電解還元法³⁾を用いてPTFEの分子凝集構造に変化を与えることができるかどうか、可能性を探索する試みの実験を行った。

2. PTFE表面の電解還元

非水電解質中で電気化学的に還元すると、PTFEの脱フッ素化を行うことができるとされ³⁾、このとき生じる三重結合によりSDAパッキングが阻害されることを期待した。本研究では、60°CのNa[FSA]-[C₃C₁pyrr][FSA]イオン液体中において、サイクリックボルタンメトリー(電位走査速度1 mV s⁻¹、電位走査範囲-0.1~1.0 V vs. Na⁺/Na)によりNa金属の析出溶解を4サイクル行い、電解還元を行った。PTFE表面が茶色く変色したことから、電子状態に変化が生じていることが示唆された。

その変色したPTFE表面付近の分子パッキングを調べるため、赤外ATRスペクトルを測定した(図1)。DFT計算⁴⁾によると、638および626 cm⁻¹に現れるバンドは、PTFEのコンフォメーションに敏感で、とくに626 cm⁻¹のバンドは、helix-reversal defectを示す⁴⁾。還元によりこのバンドが相対的に減っていることから、わずかながら構造が整うことを示唆する。

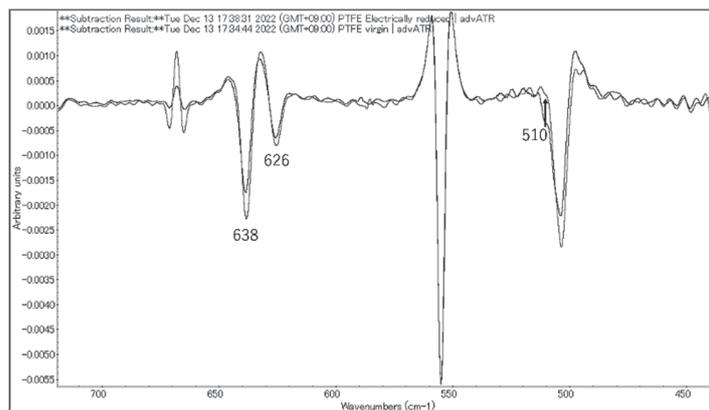


図1 PTFE および電解還元した PTFE の赤外 ATR スペクトルを二次微分処理したもの

一方、純品のPTFEに見られた510 cm⁻¹のバンドは、電解還元後に消失している。これは15₇ helixに対応することが知られており⁴⁾、電解還元によってより安定な13₆ helixに向かうことを示す。

このように、電解還元法では表面付近のコンフォメーションをより整える効果が認められた。一方、CF₂伸縮振動領域に現れる1240 cm⁻¹付近のフォノンバンド⁵⁾が増強していたことから(図省略)、コンフォメーションが整うのに合わせて分子パッキングも向上させる効果のあることが示された。

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* **2014**, *79* 914PlusChem; Shi
2. Hasegawa, T. Physicochemical Nature of Perfluoroalkyl Compounds Induced by Fluorine. *Chem. Rec.* **2017**, *17* 717. Rec.T. Ph
3. Shiraishi, S.; Oka, T.; Oya, A.; Soneda, Y.; Yamada, Y.; Miyashita, K.; Ozawa, T. Electrochemical Carbonization of PTFE in Nonaqueous Electrolytes. *Tanso* **1999**, *1999* 999oishi, S.;
4. Quarti, C.; Milani, A.; Castiglioni, C. Ab Initio Calculation of the IR Spectrum of PTFE: Helical Symmetry and Defects. *J. Phys. Chem. B* **2013**, *117* 173mi, C.; Mi
5. Fukumi, A.; Shimoaka, T.; Shioya, N.; Nagai, N.; Hasegawa, T. Infrared Active Surface Modes Found in Thin Films of Perfluoroalkanes Reveal the Dipole– Dipole Interaction and Surface Morphology. *J. Chem. Phys.* **2020**, *153*, 044703.

ペロブスカイト太陽電池の低コストと便利な封止方法

Low-cost and convenient encapsulation for perovskite solar cells using printed circuit boards

マーディー リチャード ジェームズ

MURDEY, Richard James

1京都大学 化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

Perovskite solar cells are promising devices to harvest electricity from low-intensity, artificial indoor light sources such as white LEDs. Their low cost and high efficiency make them ideal for powering small electronic devices such as long-range RFID tags or BLE beacons. To be effective in this role, however, the perovskite solar cells must be protected by encapsulating the device in an air-tight package. In this work, conventional printed circuit boards (PCBs) are examined as backing substrates for perovskite solar cell encapsulation. PCBs have advantages in that the electrical contacts for the solar cells can be easily built into the boards in the desired custom pattern. They are also inexpensive. The encapsulated devices will be part of a test platform to study the long-term reliability of perovskite solar cells.

Key Words : *perovskite solar cell, encapsulation, ambient light harvesting, sustainable energy, lifetime*

1. Introduction

Semiconductors with bandgaps from 1.7 eV to 1.9 eV are useful absorber materials for multi-junction tandem solar cells and for high-output voltage single-junction solar cells designed for indoor, ambient lighting applications. Mixed-composition metal-halide perovskites with multiple cations and anions in the A- and X-sites of the ABX_3 perovskite structure have emerged as promising wide bandgap absorbers due to their high performance and continuously variable bandgap within the desired range.[1]

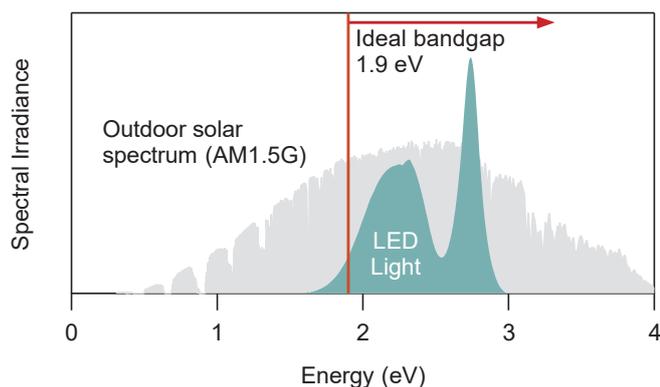


I_3 BrI_2 $Br_{1.5}I_{1.5}$ Br_2I Br_3

Bandgap tuning of ABX_3 perovskites by changing the iodide/bromide ratio

T. Jesper Jacobsson et al.,

Energy Environ. Sci. **2016**, *9*, 1706–1724.

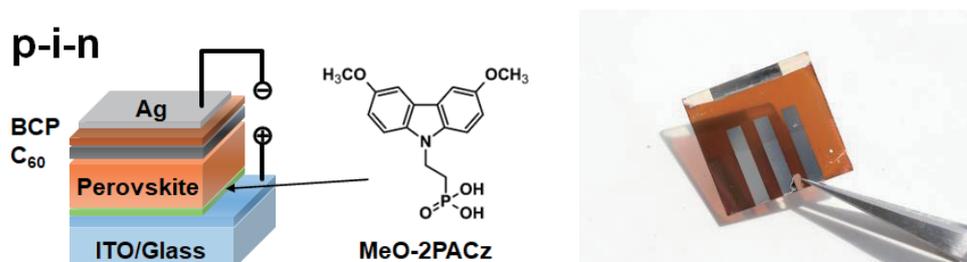


There are several points to consider when developing solar cells for efficient operation under ambient light. Some factors are particular to the wide bandgap material, which may have a less stable chemical composition due to the high bromide content needed to achieve the desired bandgap. Others relate to the materials used in the solar cell to efficiently extract the photogenerated charge, which may be poorly optimized for perovskites with wide bandgaps. Finally, there is the question of device stability. Although indoor environments are less punishing than outdoor use in full sunlight, perovskite solar cells will still quickly degrade in ambient air. Therefore, effective encapsulation strategies are needed to protect the devices. These can be implemented at both the packaging level (sealing the perovskite solar cell in an external container that includes electrical feedthroughs) and at the device level (adding barrier layers within or directly to the perovskite solar cell structure to inhibit ingress of oxygen and

water vapor). In the latter case, these barrier layers can also increase the overall stability of the device by blocking the diffusion of volatile material out of the cell.

2. Method and Results

Recently several reports have detailed important progress in both the performance and the stability of wide bandgap perovskite solar cells.[2] Meanwhile, we have previously evaluated how the performance of perovskite solar cells changes with light intensity and bandgap.[3]

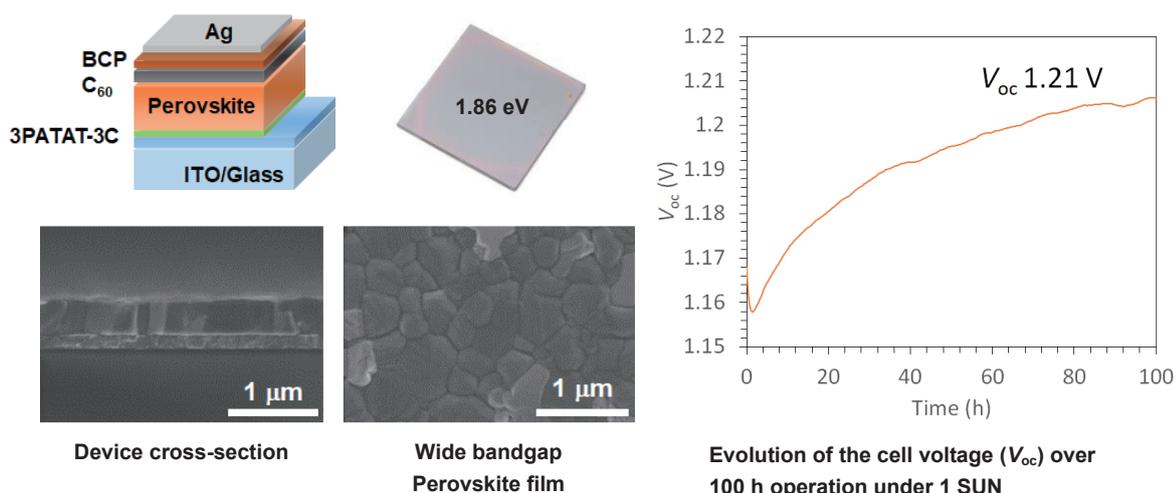


Wide bandgap perovskite p-i-n solar cells with MeO-2PACz monolayer hole extraction layers

R. Murdey et al., *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2022**, 245, 111885.

Our perovskite devices (shown above) achieved an open circuit voltage of 1.17 V under 1 SUN for a perovskite formula ($\text{Cs}_{0.05}\text{FA}_{0.80}\text{MA}_{0.15}\text{PbI}_2\text{Br}$) with a bandgap of 1.72 eV. The output from these devices was verified to be stable over 100 h operation under 1 SUN, which is equivalent to over two years of operation under indoor ambient light in terms of light exposure.

To increase the bandgap of the perovskite to a more favorable value for energy harvesting from white LEDs, we have optimized fabrication methods for a new perovskite formula ($\text{Cs}_{0.05}\text{FA}_{0.45}\text{MA}_{0.5}\text{PbBr}_{1.5}\text{I}_{1.5}$) with a bandgap of 1.86 eV. Despite the wider bandgap, the open circuit voltage of the solar cells is initially only 1.15 V although it increases to 1.21 V after 100 h operation at 1 SUN. We believe that the high voltage losses are due to the excessive recombination of charge carriers at the interface between the perovskite and the C60 electron transport layer. To reduce charge carrier recombination, we are currently evaluating different passivation strategies for the top perovskite surface, as well as optimizing the electron transport material. Passivation typically involves the solution-based application of small organic ammonium cations. These can stabilize defect sites or react with the perovskite to form a two-dimensional isolation layer. We are also evaluating the use of an inorganic barrier layer (SnO_x) between the C60 and silver electrodes to increase the overall stability of the solar cell.



[1] T. Jesper Jacobsson et al., *Energy Environ. Sci.* **2016**, 9, 1706–1724; F. Peña-Camargo et al., *ACS Energy Lett.* **2020**, 5, 2728–2736.

[2] K. O. Brinkmann et al., *Nature* **2022**, 604, 280–286; Q. Jiang et al., *Science* **2022**, 378, 1295–1300; H. Chen et al., *Nature* **2022** (<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05541-z>).

[3] R. Murdey et al., *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2022**, 245, 111885.

直接光励起に基づくイメージング技術 Imaging Technology Based on Direct Excitation

隅田 有人,¹ 新井 敏,² 大宮 寛久³

Yuto SUMIDA,¹ Satoshi ARAI,² Hirohisa OHMIYA³

¹金沢大学

Division of Pharmaceutical Sciences, Graduate School of Medical Sciences, Kanazawa University

²金沢大学

WPI Nano Life Science Institute (NanoLSI), Kanazawa University

³京都大学 化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

In this study, we developed a new type of photocaging methodology based on C–B bond cleavage by the direct excitation of the previously reported borate complex. We tackled to develop the photocaging of the C(sp³)–H on the N-methyl group, which is a prevalent motif in pharmaceuticals. The caging methylation of the pharmaceutical precursor was achieved by the S_N2 reaction of iodomethylborate with the nucleophilic nitrogen to construct the formal C(sp³)–H-caged pharmaceuticals. This approach based on the photoinduced C(sp³)–B bond cleavage permitted to build the caged pyridostigmine and caged acetylcholine, which control the neurofunction and are extremely challenging molecules to convert the caged probe.

Key Words : Photocaged, C-B bond cleavage, Acetylcholine, Choline esterase

1. はじめに

ケージド化合物は、生物機能分子に対し光除去可能なユニットを連結して、一時的に不活化したものである。光照射に伴う化学結合の切断によって所望の時空間における生物機能分子の放出が可能であり、生命現象の機構解明に広く利用されている。本研究では、独自に設計した光励起可能な有機ホウ素アート錯体を用いることで、炭素–ホウ素結合開裂に基づくケージド化手法の開発を目指す (図 1)。

生物機能分子に多く存在する N-メチル基における C(sp³)–H 結合のケージド化手法を見出した。つまり、ヨードメチルホウ素アート錯体¹⁾に対し、窒素求核部位をもつ医薬品前駆体を作用させることで、ケージド化とメチル化 (ケージドメチル化) を同時に実現した。これにより、生物機能分子の C(sp³)–H 結合が形式的に C(sp³)–B 結合へと変換され、ケージド化合物となる。これに光照射することで、アルキルラジカルの発生を伴った C(sp³)–B 結合開裂が進行し、生物機能分子が放出される。たとえば、生物機能分子として、コリンエステラーゼ阻害薬ピロドスチグミンや神経伝達物質アセチルコリンのケージド化が可能であった。

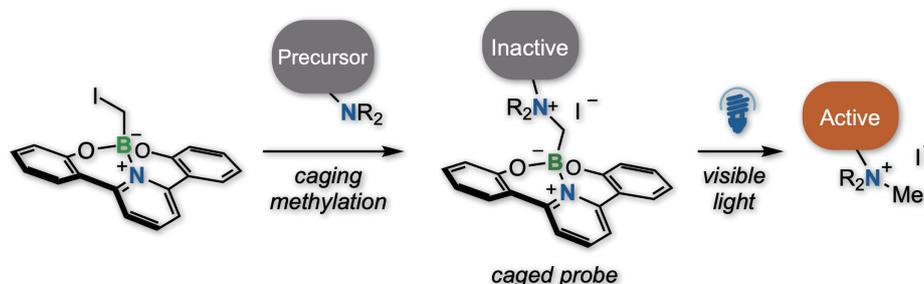


図 1. 本研究の概略図

2. 結果と考察

ヨードメチルホウ素アート錯体 **2** を用いることで、種々の第3級アミンやピリジン誘導体 **1** のケージドメチル化が可能であった (図2)。コリンやクリジニウムといった生物機能分子および医薬品のケージド化も達成した。これらのケージド化合物 **3** について、390nm の青色 LED を 30 分間照射することで脱ケージド化したところ、それぞれ低~中程度の収率で目的のアンモニウム塩 **4** が得られた。

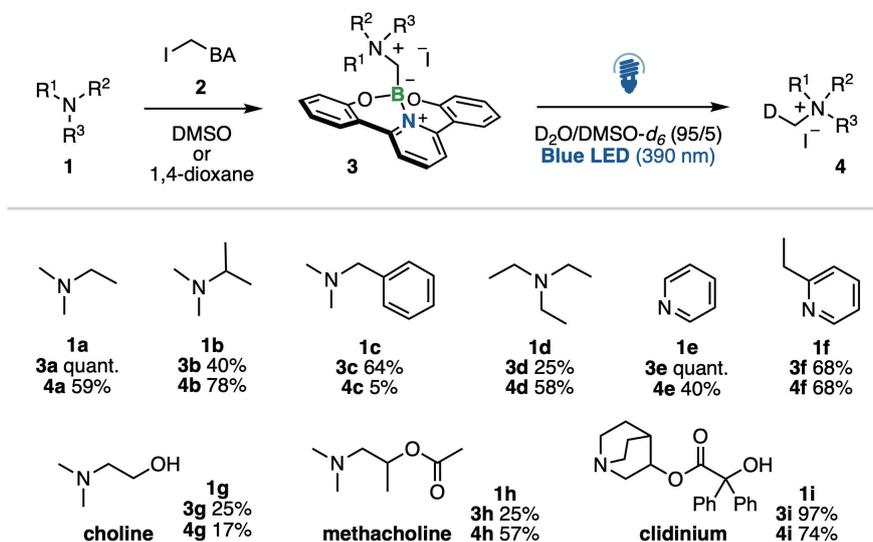


図2. 適用範囲

アセチルコリンエステラーゼ阻害薬であるピリドスチグミンと、神経伝達物質のアセチルコリンのケージド化に成功した (図3)。これらのケージドプローブについて光学的性質を明らかにし、窒素下において脱ケージド化を実施した。ピリドスチグミンのケージドプローブ **3j** では、440nm の青色 LED を 80 秒間照射することで脱ケージド化は完結し、ピリドスチグミン **4j** が 50%収率で得られた。また、アセチルコリンのケージドプローブ **3k** では、390 nm の青色 LED を 5 分間照射することで脱ケージド化は完結し、アセチルコリン **4k** が 55%収率で得られた。

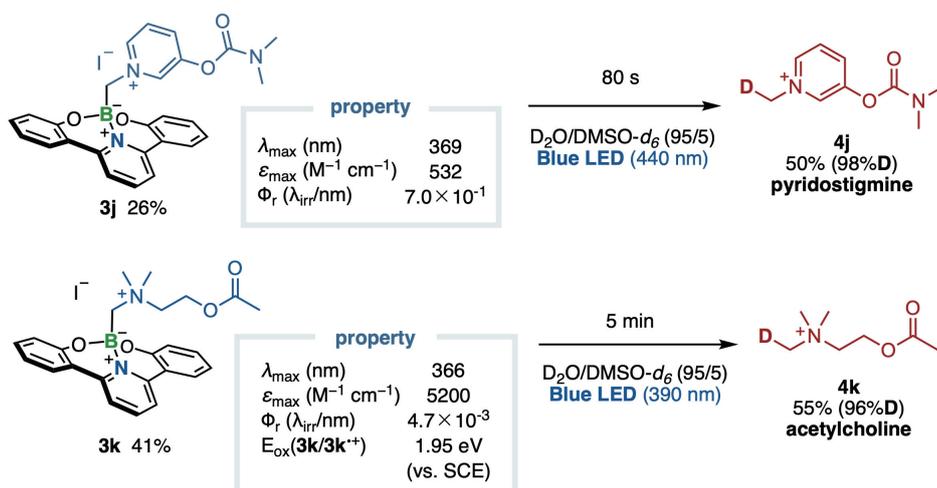


図3. ピリドスチグミンとアセチルコリン

参考文献

1) Nakamura, R., Sumida, Y., Ohmiya, H. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **95**, 1001–1005 (2022).

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

The development of new, effective and practical processes for the valorization of lignocellulosic biomass is a crucial step to overcome our overreliance on fossil fuel as source of energy and chemical feedstock and reshape our future society in a sustainable *green* humanosphere. This research aims to establish new methods for the synthesis of high-value-added bioactive compounds from 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 the ability of lignin-based functional molecules to inhibit the aggregation of proteins that are known marker of serious neurodegenerative 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.

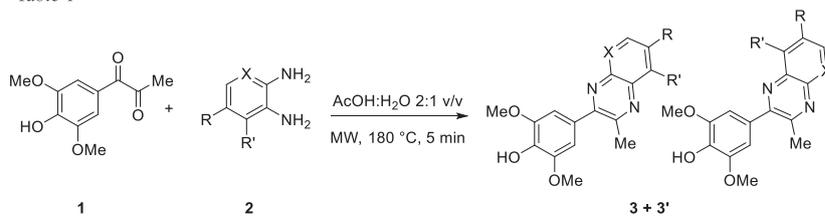
2. Current results

Quinoxaline synthesis from diketone

In order to explore the bioactivity of various wood-derived compounds, we have synthesized new compounds from lignin-derived diketone via microwave-assisted reactions.

In addition to expanding the scope of imidazole derivatives, we have synthesized several new quinoxaline derivatives, in addition to the previously investigated S-Qx (X=CH, R=R'=H) and G-Qx (guaiacyl-type diketone was used as starting material instead of syringyl-type diketone **1**), and we incorporated various functional groups in these lignin-derived compounds. Table 1 shows the newly synthesized quinoxaline derivatives.

Table 1



Compound	X, R, R'	(3+3') yield (%)	Compound	X, R, R'	(3+3') yield (%)
3a	CH, CH ₃ , H	93	3e	CH, Br, H	> 99
3b	CH, H, OH	> 99	3f	CH, OCH ₃ , H	80
3c	CH, CF ₃ , H	87	3g	CH, Cl, H	> 99
3d	CH, F, H	84	3h	N, Br, H	86

Bioactivity studies

The newly synthesized 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.

In the previous report, we had determined that compounds **2t** and **2r** showed the best performance for anti-tau aggregation in the Thioflavin-T fluorescence assay and Sarkosyl-insoluble assay. The compounds showed a bioactivity comparable to that of the reference active compound, KT-430, confirming the importance of the presence of a catechol (1,2-dihydroxybenzene) unit, in agreement with previous results by Miyasaka and collaborators.^[3] Considering these promising results, compounds **2r** and **2t** have also been tested for dose dependency, see Fig. 1. The results of the fluorescence and Sarkosyl insoluble assay in Fig. 1 demonstrate that both compounds have a dose-dependent response, and that the imidazole compound **2t** showed anti-tau aggregation effect for concentration higher than 3 μ M, with the highest activity at 10 μ M, while compound **2r** showed anti-tau aggregation effect for concentration higher than 10 μ M, with the highest activity at 30 μ M. Furthermore, results regarding imidazole compounds containing N-heterocycles have shown only weak inhibition of tau aggregation.

For the inhibition of the amyloid- β aggregation, the target compounds underwent sedimentation assay, where the amyloid-beta proteins and the target compound are mixed and incubated for a week before separation of the precipitate and supernatant. Both the precipitate and supernatant are then analyzed by Western blotting to verify aggregation inhibition (expected increase in supernatant and decrease in aggregate in the precipitate). The results of this assay did not confirm the activity of compounds **2r** and **2t** for amyloid-beta aggregation inhibition, instead compounds S-Qx and G-Qx seemed to be the most promising.

Based on the aforementioned results, we will test the new quinoxaline compounds for their inhibitory tau and amyloid- β activity and synthesize new compounds based on the bioactivity studies results.

3. Plans

Based on the aforementioned results, we will test the new quinoxaline compounds for their inhibitory tau and amyloid- β activity and synthesize new compounds based on the bioactivity studies results.

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*, 1371–1379.3)
- 3) Soeda, Y.; Yoshikawa, M.; Almeida, O. F.; Sumioka, A.; Maeda, S.; Osada, H.; Kondoh, Y.; Saito, A.; Miyasaka, T.; Kimura, T.; Suzuki, M.; Koyama, H.; Yoshiike, Y.; Sugimoto, H.; Ihara, Y.; Takashima, A., Toxic tau oligomer formation blocked by capping of cysteine residues with 1,2-dihydroxybenzene groups. *Nat Commun* **2015**, *6*, 10216.

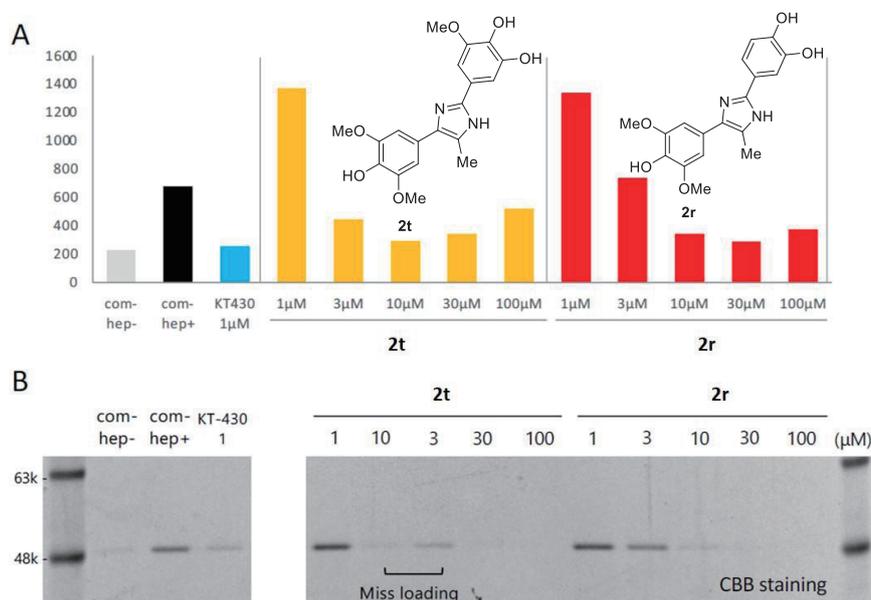


Figure 1. Dose dependency of the effects of two candidates on inhibition of tau aggregation (A) Th-T value in 168 hr incubation (B) Biochemical quantification of Sarkosyl-insoluble aggregated tau.

熱・電力可変併給によるバイオマス改質と電力需給平滑化
*Biomass Reforming and Smoothing of Electricity Supply-Demand by Variable
Combined Heat and Power Supply*

八木 重郎¹, 向井 啓祐¹, 小西 哲之², 田宮 裕之³,
高山 定次⁴, 梅澤 俊明²

Juro Yagi 1, Keisuke Mukai 1, Satoshi Konishi 2, Hiroyuki Tamiya 3, Sadatsugu
Takayama 4 and Toshiaki Umezawa 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 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

³京都大学 エネルギー科学科

Graduate School of Energy Science, Kyoto University

⁴核融合科学研究所

National Institute for Fusion Science

The utilization of nuclear energy is effective from a zero-emission perspective, but the low-grade waste heat is currently not being utilized effectively. Biomass-reforming to produce hydrogen is known to be enhanced when steam is supplied, so in this work, biomass-reforming by microwave under the steam supply is focused. In this fiscal year, construction of the system is completed.

Key Words : *biomass energy, microwave heating, waste heat, zero-emission*

1. はじめに

ゼロエミッションの視点で有効である原子力エネルギーは、低品位の排熱が利用できていないことが多い。これは熱利用の観点で有効な人口密集地への設置が容易でないことに起因し、先進エネルギーとして期待される核融合も同様の問題に直面すると予想される。一方で、そうした地域においては農業・林業に由来するバイオマス資源が潤沢でもあることが多い。バイオマス資源の熱・マイクロ波処理等による改質は先行研究例があるが、ここに排熱として水蒸気を併給することにより、吸熱反応であるガス化等の反応の底上げが期待できる。

近年では太陽光発電の大幅な拡充により、日中の電力が余剰となることも多い。日中の余剰電力の有効活用の視点でもバイオマスの改質は有望であるが、電力グリッド内に分散する余剰電力の発生源から有効にエネルギーを回収・集約するには、大型電力系統の根元にあたる大型発電所の近傍は電力インフラの追加整備を要しない有効な立地といえる。

そこで本研究では、核エネルギーによる熱/電力の可変併給により、外部電力の消費/供給の負荷・環境変動を吸収し、バイオマス資源の改質を行うシステムの構築を目指し、研究を実施する。本年度は水蒸気供給装置を備えたマイクロ波加熱装置を構築した。

2. 大型マイクロ波加熱炉の設計と実験手法

図1、2に大型マイクロ波加熱炉および蒸気供給部の概観を示す。本年度は木質バイオマスの模擬試料としてセルロース粒(粒径:2-3mm)を用いた。反応容器はマイクロ波の吸収性の低い石英ガラス製とし、これにセルロース粒を装荷した。また、石英試験管を囲う形で断熱材を設置した。反応容器は高純度Arを100scc/minでパージし、水冷却と-45℃の冷却器を2台通した後のパージガスに対して、四重極質量分析計による成分分析ができる構造とした。水蒸気供給試験においては、容器に導入する前のArガスを約80℃の温水中でバブリングさせ、水蒸気分圧を50kPaとした後に追加熱する構造となっている。試料の温度は放射温度計を用いて石英管の外部から測定した。マイクロ波はマグネトロン型発振器4台を使用した。マイクロ波の入射電力はパワーモニターを用いて測定し、反射電力が著しく高くないように、マイクロ波炉入射部の導波路の調整を行った。現在、入力電力に対して10%以下程度の反射電力が確認されており、お

およそのマイクロ波が反応炉内で吸収されていることが予想される。



図1 マイクロ波加熱装置

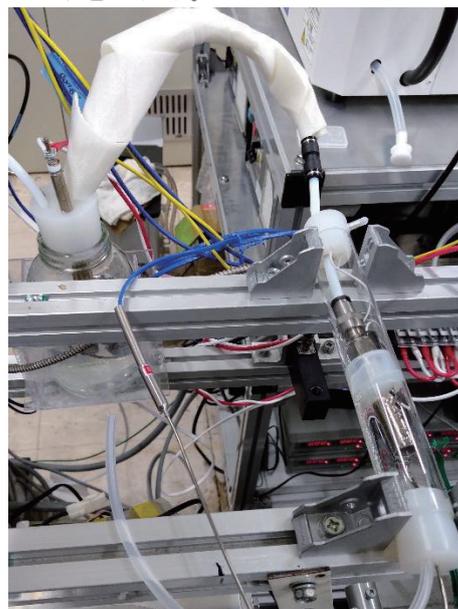


図2 蒸気供給・追加熱部

3. 結果と今後の展開

加熱実験では、セルロースが不活性ガス雰囲気中でガス化される300°C以上が必要となる。マグネトロンが発振電力の調整を行った。図3にマイクロ波加熱後(800°C、1時間)のセルロース粒を示す。加熱前は白色の粒であったのに対して、加熱後は黒色に変化している。これは一般的に知られているように、セルロース粒が高温で加熱されることで炭化物(チャー)に変化したといえる[1]。また発生ガスとしては水素、メタン、一酸化炭素、二酸化炭素が検出された。今後、蒸気供給環境での試験を実施する予定である。そして、核エネルギーによる熱/電力の可変併給により、外部電力の消費/供給の負荷・環境変動を吸収した、バイオマス資源の改質を行うシステムの構築を目指す。



図2 マイクロ波加熱後のセルロース粒

参考文献

- [1] Y. C. Lin, J. Cho, G. A. Tompsett, P. R. Westmoreland, and G. W. Huber, "Kinetics and mechanism of cellulose pyrolysis," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 113, no. 46, pp. 20097–20107, 2009, doi: 10.1021/jp906702p.

謝辞：

本研究の一部は公益財団法人京都産業21「産学公の森」事業に関連して実施しました。

Charおよび液化物の同時生産に向けた バイオマス急速熱分解技術の開発 —昇温加熱時の触媒効果の検討

Development of Biomass Rapid Pyrolysis Technology
for Simultaneous Production of Char and Liquefied Products:
Investigation of Catalytic Effects during Heating at Elevated Temperatures

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

²北海道立総合研究機構林産試験場

Forest Products Research Institute, Hokaido Forestry Research Organization

The production of chemicals and functional materials from renewable biomass resources is of great interest. In this study, fast pyrolysis of cedar wood powder with pulse current heating was performed to simultaneously produce aromatic chemicals and functional charcoal. In order to clarify the influence of the reaction tube material on the production of useful substances, metal powder of the same material as the reaction tube, which has a large contact surface with the wood powder sample, was mixed with the wood powder sample and heated at elevated temperatures to observe the pyrolysis behavior, chemical composition, and micromorphology of the pyrolysis residues.

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

1. はじめに

化石資源の枯渇と環境劣化が目に見える形で顕現化しその結果、社会問題が発生しつつある。これらの問題を解決するために、未利用植物資材から化石資源代替となる有用化学物質を生産することが必要である。一方、触媒存在下における木質バイオマスの急速熱分解により、化成品原料やガソリン成分と同じ芳香族化合物を得られるだけでなく熱分解残渣(Char)の機能性材料への展開が可能である。未利用バイオマスから化成品原料やガソリン成分と同じ芳香族化合物への転換を行い、植物由来資源からの有用化学物質(化成品原料、エネルギー等)の安定供給を図るとともに、熱分解残渣を環境資材へ変換することにより、ゼロエミッション型循環システムの構築が可能となる。

有用な化学物質を化石資源以外から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。バイオマスを迅速かつ効率的に化学品に変換する上で、炭素化は重要な技術の一つである。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化学産業における役割を炭素化技術が動きを支えている¹⁾。

本研究では、木質バイオマスから得られる液化物および熱分解残渣を有用物質として活用するため、熱分解生成物の試料重量減少挙動、発熱・吸熱挙動、化学構造について明らかにし、電子顕微鏡により微細構造を観察し、触媒添加や昇温速度の影響を検討した。

2. 実験方法

原料：北海道産トドマツ (*Abies sachalinensis*) 材粉碎物、銅粉末和光純薬 75 μ m, 99.9%、チタン粉末和光純薬 45 μ m, 99.9%を使用した。トドマツ木粉と銅粉末を重量比 7:3 とし、メノウ乳鉢に入れ、また、トドマツ木粉とチタン粉末を重量比 7:3 とし、メノウ乳鉢に入れ、混合により試料調製を行った。

熱処理条件：次の条件で熱処理を行った：窒素気流下 (200ml/min) ,昇温速度 10-40°C/min、500°C到達後 3 分間保持し、自然放冷した。

熱処理に伴う重量減少、発熱・吸熱挙動、元素分析による熱分解残渣化学組成、FT-IR スペクトル、SEM 像による熱分解残渣化学構造と形態観察による検討を行った。

熱分析：株式会社リガク TG-DTA TG8120 を用い、窒素気流下 (200ml/min) 、室温～500°C、昇温速度 10, 20, 40°C/min の条件で熱重量分析を行った。

元素分析：柳本製作所(株) CHN 分析計 MT-5 を使用し、炭素(C)、水素(H)、窒素(N)含有率(%)を測定した。酸素(O)含有率(%)は差分により算出した。

FT-IR スペクトル：日本分光(株)FT/IR-4200 を用い、KBr 錠剤法により測定した。

SEM 観察：日本電子株式会社製走査電子顕微鏡 JSM5310 型により熱分解残渣の微細形態を観察し、触媒添加や昇温速度の影響の有無を検討した。

2. 結果と考察

熱分析結果：昇温速度の増大に伴う顕著な重量減少率の変化は、今回の熱処理条件では得られなかったものの、銅添加により、木粉のみの場合と比較し熱分解残渣を多く得られた。チタン添加により、重量減少率が增大する傾向が示された。熱分解残渣の採取を優先する場合は、銅添加が適しており、ガス・液体物採取を優先する場合は、チタン添加が適していると考えられた。

元素分析結果：トドマツ単体では、昇温速度の増加とともに炭素量がやや増加する傾向にあったが、Cu 添加により昇温速度の増加とともに炭素量が増加した。一方、チタン添加の効果は本研究の結果からは明らかでなかった。

FT-IR スペクトル：昇温速度の違い、銅やチタンの添加によるスペクトルの大きな変化は見られなかった。3,400 cm^{-1} 付近に水酸基由来と考えられる吸収が観察された。1,700 cm^{-1} 付近にカルボニル基の存在を示唆するショルダーが観察された。1,595 cm^{-1} 付近に芳香族 C=C 結合由来の伸縮振動と考えられる吸収が観察された。

電子顕微鏡による観察：銅添加熱分解残渣とチタン添加熱分解残渣を観察したところ、銅を添加した熱分解残渣の断面には、触媒反応後の痕跡が観察された。チタンを添加した熱分解残渣は、未処理の残渣よりも細かく、均一に小さくなっており、その結果、重量減少率が大きくなったものと思われた。

参考文献

1) Honma, S.; Hata, T. et al; Ohashi, Y.; Sulisty, J.; Watanabe, T.; Yoshimura, T., J. of Chemical Technology & Biotechnology, 92 (3), pp. 522-529 (2017)

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 Humanosphere, 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.

Introduction

The necessity to utilize lignocellulosic biomass was driven by the need to find sustainable resources for producing the demanded fuels and chemicals while preventing climate change. Accordingly, an effective pretreatment method is required to decompose the complex structure of biomass to its monomers. In this regard, the biomass conversion laboratory-RISH, Kyoto University has developed an effective pretreatment method using acid-glycerolysis assisted by microwave (1, 2). This method can also generate antiviral agents, which supports the economic feasibility of the biorefinery and the need for antivirals to fight the spreading of viruses and pandemics, which threaten human life (3-6).

My collaboration with Prof. Takashi Watanabe was fruitful in engineering a safe microbial cell factory, Baker's yeast, which can convert glycerol with glucose to an industrial level of bioethanol (7). I have previously developed efficient xylose-fermenting yeast (8, 9). Last year, we reported here an integrated biorefinery method to produce antiviral agents for encephalomyocarditis virus (EMCV) without causing cytotoxicity from lignin of sugarcane trash (SCT). Besides, the production of bioethanol from sugars of SCT using two mixed cultures of the abovementioned yeast strains (Fig.1).

In this study, the glycerolysis efficiency reflected in the enzymatic saccharification, which reached 99%. As a result, the total recoveries of sugars reached 89% of theoretical biomass sugar. 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 promote to accomplish the following points:

1. Broaden the utilization of other lignocellulosic biomass resources such as Kudzu クズ / 葛 (*Pueraria montana var lobata*).

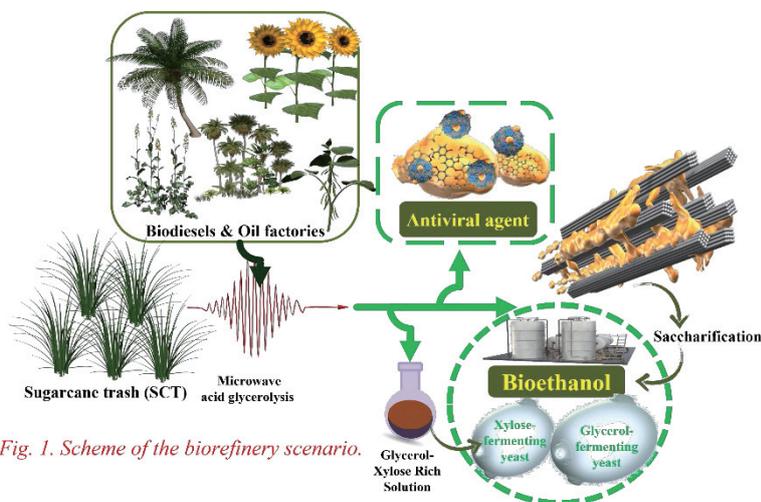


Fig. 1. Scheme of the biorefinery scenario.

2. Generate a hyper single yeast factory that could co-ferment glycerol, xylose, and acetate with glucose for efficient application of bioethanol (Fig. 2).

Methods

In this study, we studied the biorefinery of sugarcane trash (SCT) and Kudzu as abundance renewable sources of lignocellulosic biomass in Asia, tropical, and subtropical countries. The SCT used here was imported from Thailand, while the kudzu was collected from Uji campus, Kyoto University. 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 (100-150 °C). Glycerolysis of kudzu was performed at 140 °C. Following glycerolysis of SCT, 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 abovementioned recombinant stains: xylose fermenting yeast and glycerol converting yeast.

Results and Discussion

The compositional analysis of SCT, and Kudzu showed over 55 % of biomass are sugars as presented in Fig.3. These sugars were fermented with glycerol to bioethanol with conversion efficiency reached 96%. It is also possible to fermented to other bio-based chemicals. Fig. 4A shows the residual pulp of SCT after glycerolysis at different temperatures.

Reaction at 140 °C showed the highest total recoveries from glycerolysis and the enzymatic saccharification (Fig.4B). 27 % of SCT' lignin was also utilized for production of antiviral (7.9% of dry SCT). The antiviral has inhibited encephalomyocarditis virus (EMCV) replication in L929 cells without cytotoxicity. These integration strategies represent essential step for enhance the economic feasibility of biomass utilization.

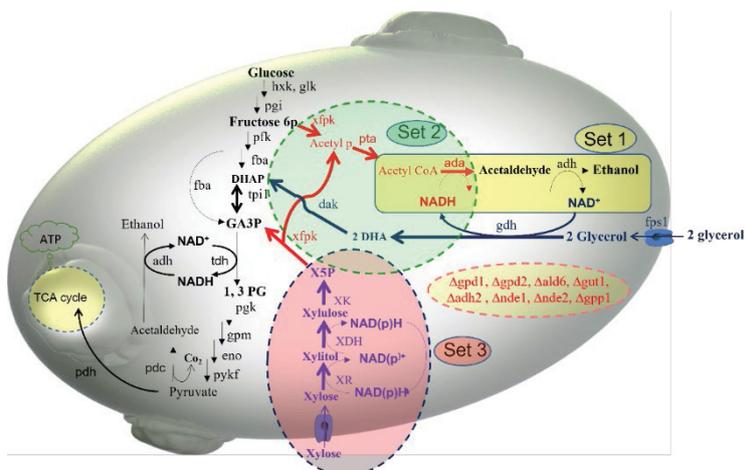


Fig.2. Metabolic pathways of a hyper yeast cell for bioprocessing the glycerolysis of biomass.

Fig. 3A: Compositional analysis of SCT

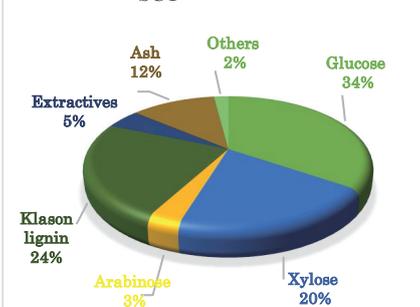


Fig.3B: Compositional analysis of Kudzu

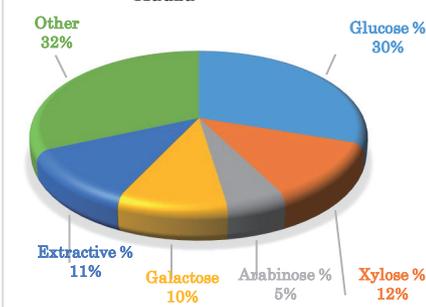


Fig.4A. Residual pulp (%) of SCT after glycerolysis

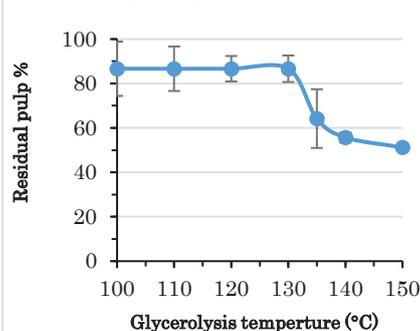
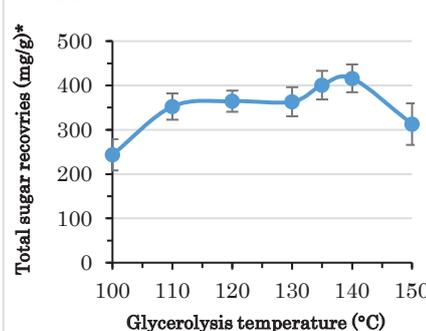


Fig.4B. Total sugar recoveries of SCT from glycerolysis and saccharification



Conclusion

We created a comprehensive biorefinery scenario that would use lignocellulosic biomass to produce bioethanol combined with antivirals. These encouraging results encouraged the pursuit of completing the second stage of the hyper fermenting yeast construction using the three steps shown in Fig. 2.

Acknowledgements

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

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, Al(SO₄)₃, AlCl₃, 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- 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>
- 4- 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>
- 5- 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>
- 6- 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>
- 7- 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>
- 8- 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>.
- 9- 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>.
- 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.

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, 谷垣 実², 二瓶 直登³

Yoshikatsu UEDA¹, Minoru TANIGAKI², Naoto NIHEI³

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

²京都大学・複合原子力科学研究所

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science

³福島大学・食農学類

Faculty of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University

We have been measuring environmental radioactivity in real time using KURAMA-II (Kyoto University RADIation MAPPING system-II) to investigate its contamination around Fukushima Prefecture due to the nuclear power plant accident occurred in 2011. In our research, in order to solve the problem of GPS positional error in forests and mountainous areas, we will perform 3D mapping by camera photography at the same time to provide highly accurate positional information. Although KURAMA-II has been used in the past, the application of photogrammetry is a new method to be introduced, and this is a research and development of a new measurement technique.

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

1. はじめに

2011年に発生した原発事故による福島県周辺の環境放射能汚染調査のため、歩行サーベイ(KURAMA-II, Kyoto University RADIation MAPPING system-II)による環境放射能のリアルタイム測定をこれまで行ってきた。本研究テーマでは、今年度は森林や山間部において問題となるGPS位置補正エラーを解決するため、カメラ撮影により3次元マッピングも同時に行う事で、位置情報を高精度に行っている。KURAMA-IIについてはこれまでの計測経験があるが、特にフォトグラメトリー手法の適用については新しく取り入れる手法であり、新しい計測技術の研究開発となる。

2. 研究の背景と目的

福島県周辺の環境放射能汚染は、2022年現在も未だ山間部などの森林圏を中心に残っているのが現状である。時間経過による環境放射能のモニタリングや、環境回復のための連携研究は今後も重要な課題であり、生存圏研究所と福島大学、複合原子力科学研究所と共同で、KURAMA-IIによる環境放射能のリアルタイム測定を行ってきている。山間部における歩行サーベイでは、KURAMA-IIに搭載されているGPS受信機の捕捉エラーにより、位置情報がずれてしまう事があった。そのため、山間部でも環境放射能を可視化してマッピングするため、カメラ撮影による動画解析を同時に行う事を想定している。マップ



図 1：動画解析の一例（宇治キャンパス内での歩行解析）

ングについては、ソフトウェア 3DF Zepher を用いたフォトグラメトリ手法を使い、位置情報を解析する。最終的には新しいマッピング手法と、KURAMA-II の GPS による位置検出データと比較しながら、計測位置を精度よく検出していく。

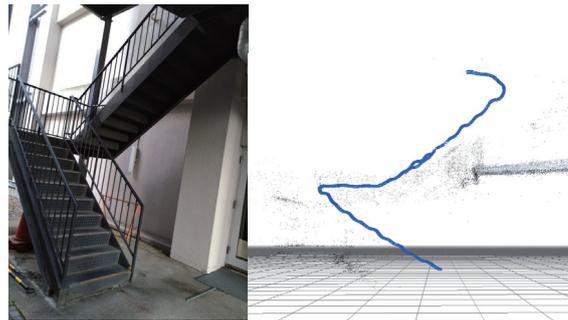


図 2. フォトグラメトリ解析による 3 次元歩行解析

3. 研究の結果と考察

今年度においては、歩行時に撮影した動画を解析するため、宇治キャンパス内において動画を撮影し、その歩行サーベイについて解析を行った。図 1, 2 がその結果になるが、アスファルト道路における位置検出の他、キャンパス内の雑木林部分においても、精度よく位置検出が出来ている事がわかる（図 1）。また、階段などの上下方向の解析についても同様に成功しており、特に高さ方向の位置補正も上手くいくことがわかった（図 2）。ただし、現状の問題点としては、動画撮影時に特徴が分かりにくい空間（青空など）や建物が多く存在した場合、検出エラーが多かった。この事は、森林地帯では、高性能なカメラを用いれば、かえって画像差分として検出できる可能性が高く、フォトグラメトリ手法としては長所として考えることもできる。今後は福島県の現地での計測の他、最終的にリアルタイム検出を行う手法についての検討も考えている。

4. まとめと今後の課題

本研究においてはフォトグラメトリーが有効であることが分かったが、撮影時のカメラの選定や位置検出に有効な目標点の設定などを考慮しつつ、KURAMA-II との同時計測を今後考えていく必要がある。

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

熱帯荒廃草原における資源生産に基づく炭素隔離

Grass biomass breeding towards carbon sequestration

梅澤 俊明¹, レザ ラムダン リバイ^{1,2}, 小林 優³, 飛松 裕基¹,
サフェンドリ コマーラ ラガムスタリ², 梅村 研二¹, 八木 重郎⁴, 小西 哲之⁴

Toshiaki UMEZAWA¹, Reza Ramdan RIVAI^{1,2}, Masaru KOBAYASHI³,
Yuki TOBIMATSU¹, Safendri Komara RAGAMUSTARI², Kenji UMEMURA¹,
Juro YAGI⁴, and Satoshi KONISHI¹

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

²インドネシア研究イノベーション庁

Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

³京都大学 大学院農学研究科

Graduate School of Agriculture, Kyoto University

⁴京都大学 エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

Revegetation and sustainable use of deteriorated grass fields left after tropical deforestation has been an important issue in Southeast Asian countries. This study seeks to develop grass plants optimized for a sustainable production of biomass in deteriorated grass fields. Based on the knowledge obtained by model experiments with rice, we are working on the selection and breeding of sorghum lines with higher lignin content. The high lignin content biomass is promising as a raw material for carbon sequestration in combination with energies which do not emit carbon dioxide.

Key Words : Grass biomass, lignin, carbon sequestration, sustainable biomass production

1. はじめに

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チガヤ (*Imperata cylindrica*、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、非常な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きた。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. 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) を示すと共に、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。一方リグニンが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、種子を増殖すると共に、化学成分分析の予備試験を行った。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、これらの一連の研究内容を取りまとめた総説を執筆した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）。

一方、バイオマスの処理について、小規模で近未来に利用可能な技術として、マイクロ波によるガス化・炭化装置を試作し、セルロースサンプル及び竹を用いた反応に成功した。マイクロ波からのエネルギー変換機構について引き続き基礎研究を実施し、機構の解明と効率の向上を目指す。本研究については一部京都市との協力事業として放置竹林の処理対策としても可能性を検討している。

参考文献

1) 梅澤俊明, リグニン代謝工学によるイネ科バイオマス植物の育種 リグニンの量と構造の改変, 化学と生物, Vol. 60, pp. 565–672, 2022

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 riverbank erosion. The present study attempts to quantify the long-term eroded sediment volumes from the riverbank and riverbed in the entire VMD using remote sensing (RS) and historically measured bathymetric data. To verify RS results, we conducted a field survey from October 2021 to February 2022 (21 days) to track the bank coordinates and measure the slope along approximately 1,200 km long of the main river. We found that the riverbanks near the estuaries are alternately eroded and deposited; however, erosion is dominant. We also found that the riverbank around the brick factories is typically stable; however, some places also suffer from severe erosion. Riverbank erosion is more significant on the islands than on the mainland. Riverbed incision is dominant throughout the entire VMD.

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.

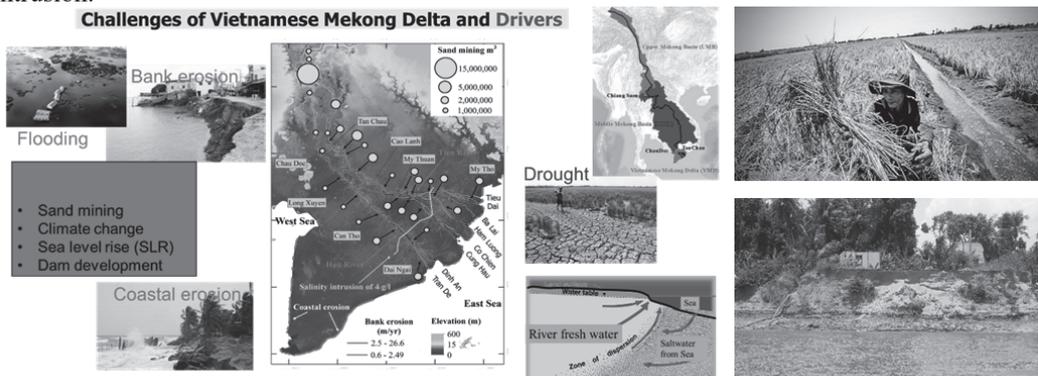


Figure 1: Vietnamese Mekong Delta and effects of different drivers with pictures

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 been 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, which can be typically seen in Fig. 2.

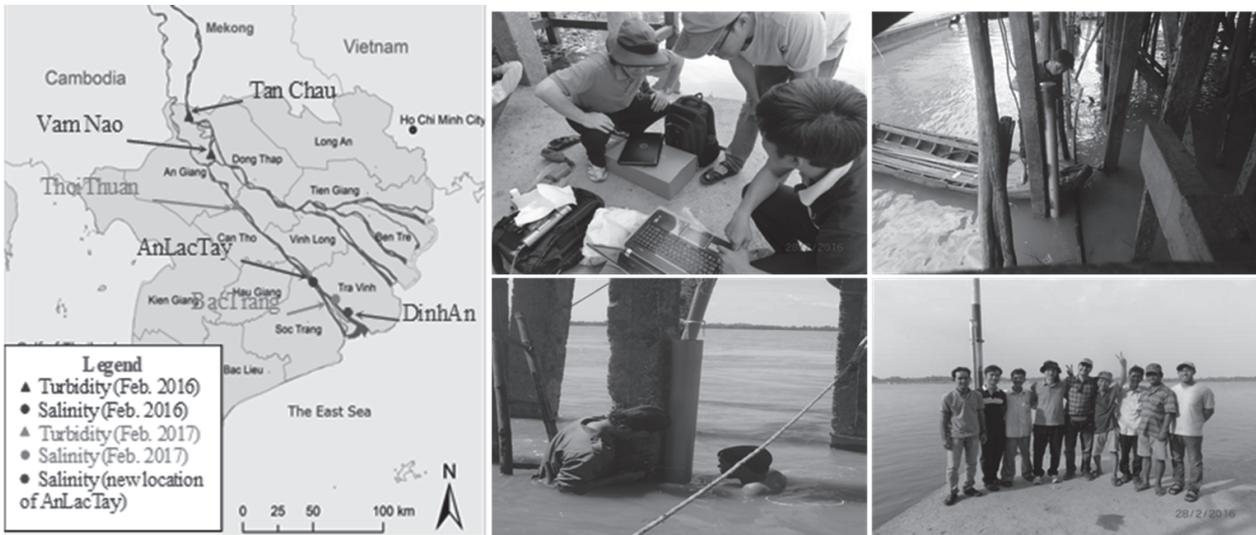


Figure 2: Location map of measurements stations of turbidity and salinity installed at the Mekong Delta and pictures of instruments installation activities.

2. Field Survey

We conducted a 21-day field survey within the period from October 2021 to February 2022 to monitor the bank coordinates and measure the bank's slope(s) along the main river, covering approximately 1,200 km river long (Fig. 3). 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 4). Riverbank erosion is more significant on the islands than on the mainland. This is because the geographical setting of the islands is unstable and newly formed due to sediment deposition.

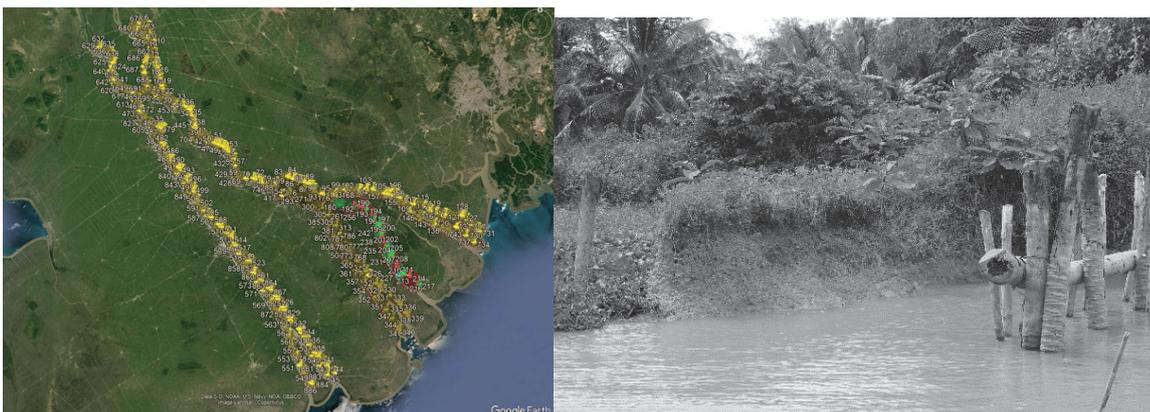


Figure 3: Spatial coverage of riverbank measurement from October 2021 to February 2022 with locations of the bank slope and coordinates campaigns and typical erosion patterns in the vegetated area and along the river banks in VMD

3. Riverbank erosion estimate from remote sensing

Fig. 8 shows the spatial variation of riverbank erosion rate (m/yr) from 1998 to 2020 extracted from Landsat satellite data. We used deep learning techniques to delineate water from land to identify the bank line. We then used Digital Shoreline Analysis System (DSAS) plug-in in ArcGIS to estimate the erosion/deposition rate. The erosion/deposition rate was calculated as the slope of the linear regression line from 1998 to 2020, in which at least two additional riverbank lines between 1998 and 2020 had to be included.

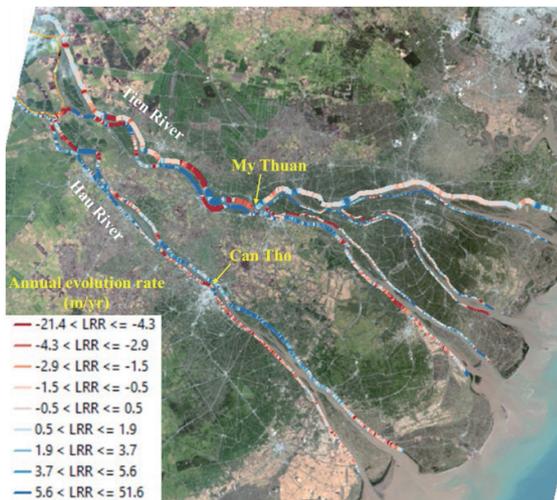


Figure 4: Spatial variation of annual riverbank erosion/deposition rate from 1998 to 2020 using Landsat satellite data

Figure 4 shows that erosion is dominant compared to deposition within the VMD. The maximum erosion rate is up to -21.4 m/yr compared to a maximum deposition rate of up to 51.6 m/yr. Erosion is more pronounced in the Tien River than in the Hau River where deposition is mainly dominant. In the Tien River, erosion mostly happens in the upper part (i.e., upstream of My Thuan), while erosion in the downstream region is also significant. In the Hau River, erosion occurred mainly on the right bank, while deposition happened mostly on the left bank.

4. Riverbed incision estimate

We collected bathymetric data in 1998 and 2020 to estimate the incision rate of the riverbank. First, the point cloud of bathymetric data (in terms of cross-section data) in 1998 and 2020 was interpolated using the Kriging interpolation method in the Geostatistical Analyst tool in ArcGIS. Riverbed incision and deposition rate were then estimated using ArcGIS's Geometric Change Detection (GCD) plug-in. Figure 5 shows that riverbed incision is substantially dominant compared to deposition throughout the entire VMD, with a maximum incision rate of about -1.2 m/yr. Generally, riverbed incision is more significant in the Tien River than in the Hau River. In the Tien River, riverbed incision is very high in the Co Chien branch, while other branches also experienced high incision. In the Hau River, the incision is more in the lower part (i.e., downstream of the Can Tho hydrological station) than in the upper part.

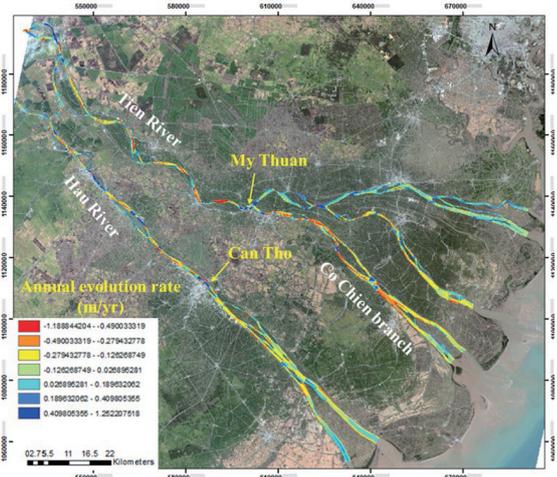


Figure 5: Annual riverbed evolution in the VMD from 1998 to 2020.

References

- 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) 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>.

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： 水文地形プロセスモデリングの実践と検証

Development of an assessment tool for hillslope hazards by heavy rainfall toward
resilient local society: hydro-geomorphological process modeling and its validation

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研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

3京都大学 地球環境学堂

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

This report describes aims and approach of our research for establishing a tool for landslide hazard assessment. We developed a hydro-geomorphological model for predicting rainfall-induced shallow landslides on soil-mantled hillslopes. The model simulates accumulation of soil layer on hillslopes by bedrock weathering and soil creep. Reinforcement of the soil layer by tree roots was formulated as a function of soil depth. Subsurface rainwater percolation and pressure increase at the soil bottom are also modeled and validated by hydrological observation. Coupling of those models enables us to evaluate spatiotemporal change in hillslope stability during a rainfall event. Predictability of the model was tested in a site where landslide disaster occurred recently. The model output provides a tool for risk communication between various stakeholders, which can enhance disaster resilience of local society.

Key Words : *shallow landslide, hazard assessment, process modeling, risk communication, disaster resilience*

1. はじめに

近年、都市周辺の環境変化や人為的気候変動に伴う豪雨の増加により、土砂災害が大規模・高頻度化している。今後さらに豪雨の頻度・強度の増大が予想される将来気候下では、日本を含むモンスーンアジアの各地で、土砂災害リスクの顕在化が想定される。土砂災害への対応策として、砂防堰堤のような人工構造物を全ての場に完備することは不可能であり、また、その施工により、流域環境への影響が不可避的に生じてしまう。さらに、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。従って、突発的な豪雨による土砂災害にし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に加え、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の施策を拡充し、気候変動適応を強化して、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。また、近年の新興感染症パンデミックの影響下にある社会状況を踏まえると、避難先での感染拡大を抑制するためには、必要最小限の期間のみ本当にリスクのある居住地からの退避が行われることが望ましく、そうしたスマート避難の実現のためにも、ハザード評価の精度と確度の向上が待たれるところである。

本研究では、申請者らによって開発が進められてきた土砂災害の素因成立および誘因作用に関するモデルを応用し、革新的な斜面ハザードの評価・可視化システムを開発することを目的とする。このシステムでは地理情報システム上に、表層崩壊のハザード（危険度）の空間分布を可視化する。まず、山地の流域における斜面崩壊予備物質である土層の生成・集積速度を、宇宙線由来の放射性同位体の分析と、細密デジタル地形情報の解析によって決定し、土層の厚みの空間分布を計算する。次に、降水浸透に伴う土層中の間隙水圧変動をモニタリングしたのち、数値計算によって観測データを再現し、水文パラメータを決定する。最後に

これら二つの地形・水文モデルをカップリングし、降雨の進行に伴う斜面の不安定領域の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。システム内では任意の想定豪雨を入力としたシミュレーションを行い、降雨の量および強度と、斜面ハザード増大との関連性を定量的かつ視覚的に提示できる。これを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、山麓居住域での土砂災害リスクの認知・共有に活用することで、従来よりも格段に確度・精度の高い警戒・避難想定が可能となり、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が期待できる。本年は、日本国内における近年の豪雨での発災地を対象とした検討を行い、実際の表層崩壊発生状況に照らして、モデルによるハザード評価の精度と確度を検証した。そのうえで、国内および東アジアの未災場（リスクはあるものの未だ災害を経験していない場）での実践についての方策を議論した。

本研究は、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、気圏・水圏・地圏・生物圏の地表近傍境界域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。また、本研究は、極端気象災害に直面する地域社会の核心的な減災ニーズに応えるものであり、分野横断的な研究者組織による学際的体制と複合融合的な研究アプローチをもって問題の解決を試みるものである。

その国内実装と国際展開は、東アジアにおける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。本研究によって開発される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変化が、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）。

2. 水文地形学的プロセスモデリング

近年に、豪雨に伴う表層崩壊が群発した日本国内の花崗岩を基盤とする山地流域を対象に、水文地形学的なプロセスモデリングを実施し、発災の再現解析を試みる。

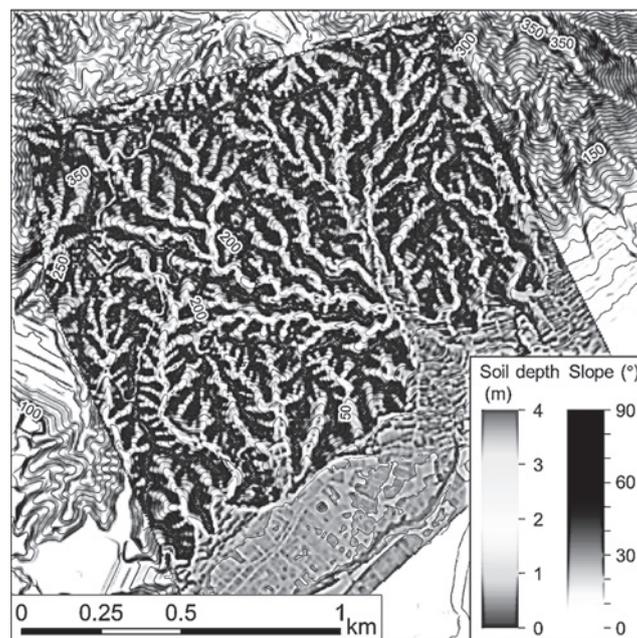


図1. 岩盤の風化と土粒子輸送のモデルにより計算された土層の厚みの空間分布。

まず斜面崩壊予備物質としての土層厚の空間分布を推定するため、地理情報システム上で土層発達シミュレーションを実行した。時空間解像度は5 m メッシュ、1 年で、岩盤の風化による土層の生成とソイルクリープによる土粒子輸送のセルベースでの繰り返し計算を行った。土層深の初期値は、斜面における代表的な値を採用して0.5 m で空間的に一様とした。計算の結果、土層の厚みは、経時的に斜面尾根部で0.5 m 以下程度の定常状態となる一方、谷頭凹地では時間とともに増大し、200 年程度相当の計算ステップを経過した時点で、実際の表層崩壊および土石流流下による削剥深相当の値が再現された(図1)。

次に、計算された土層の空間分布を場の条件として、降雨浸透に伴う土層底面での間隙水圧の変動を計算した(図2)。計算においては、初期条件を、この場の梅雨期の降水量を入力とした定常水圧分布とし、短期応答として斜面水文観測によりキャリブレーションされた間隙水圧拡散モデルによる再現を行った。短時間の強い降雨に対応して、土層底面での間隙水圧が急上昇し、速やかに低減する現象が再現された。

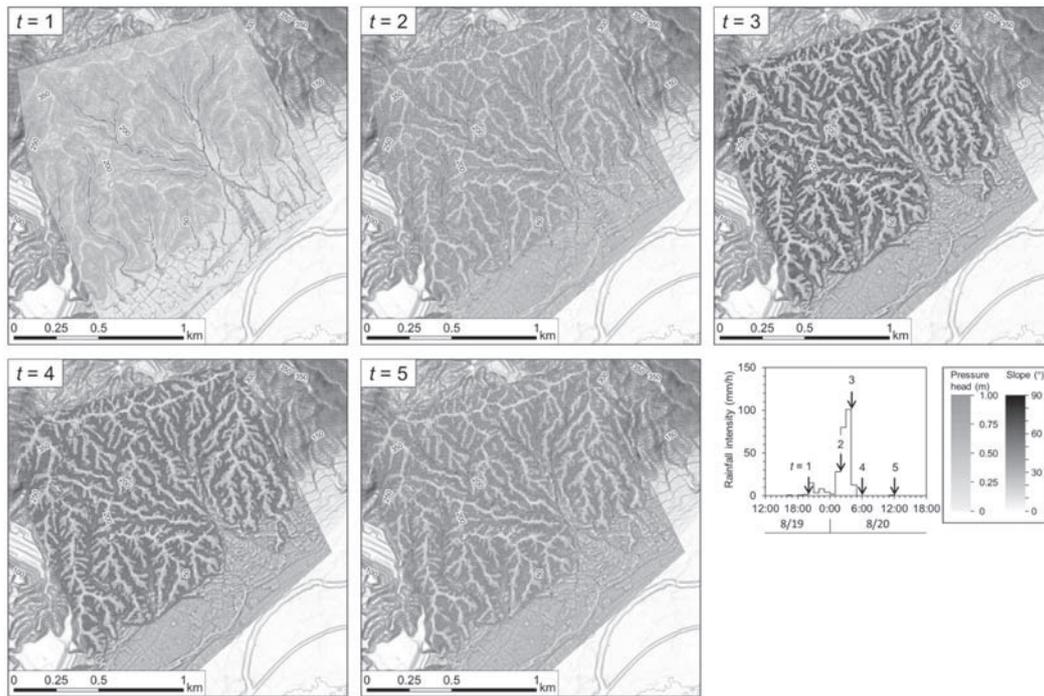


図2. 水文モデルによる土層底面での間隙水圧変動の再現。

そして、斜面の安定性を評価するため、樹木根系による土層の補強効果をモデリングした。図3は、広葉樹を主体とする二次林における複数試孔地点での植物根系の深さ分布と、それによる付加的粘着力を土層の厚みの関数として表現したものである。付加的粘着力は、植物根の直径と引き抜き強度の関係および根の深さ分布に基づいてモデル化した。

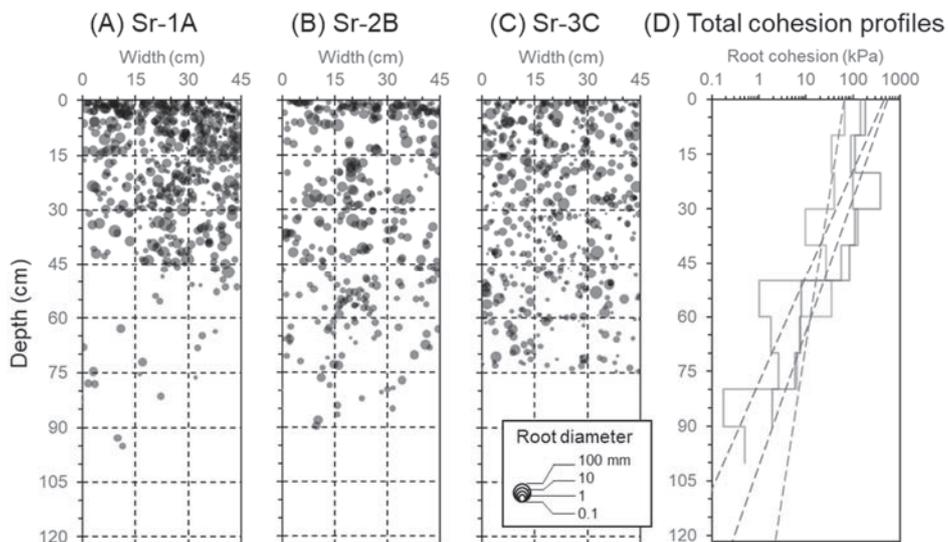


図3. 植物根系の深さ分布と付加的粘着力のモデリング。

これらのモデルをカップリングさせ、土層の厚みの空間分布と植物根系による補強効果および降水浸透に伴う間隙水圧変動を考慮した斜面ハザードの時空間変化の評価を行った。図4に、降雨（すなわち水圧）のピーク時点におけるモデルの出力としての斜面安定性の空間分布と、実際の表層崩壊分布を示す。植物根系による補強効果を考慮しなければ、斜面の不安定性を過大評価することがわかる。一方、それをモデル化して斜面安定性評価に組み込んだ場合には、実際の表層崩壊分布をうまく説明することができた。全体として、樹枝状に広がる不安定領域と表層崩壊痕跡はよく一致する場所もあるが、モデルによる予測が不安定性を過大評価している箇所も多く見受けられる。これには、崩壊免疫性（一度崩れると土層が回復するまでは、しばらく安定化する現象）が関わっている可能性がある。この点を踏まえた評価の高確度化は、今後、表層崩壊による崩土量（流域からの土砂生産量）の精緻な見積もりを行っていくうえでは解決すべき課題であるといえる。

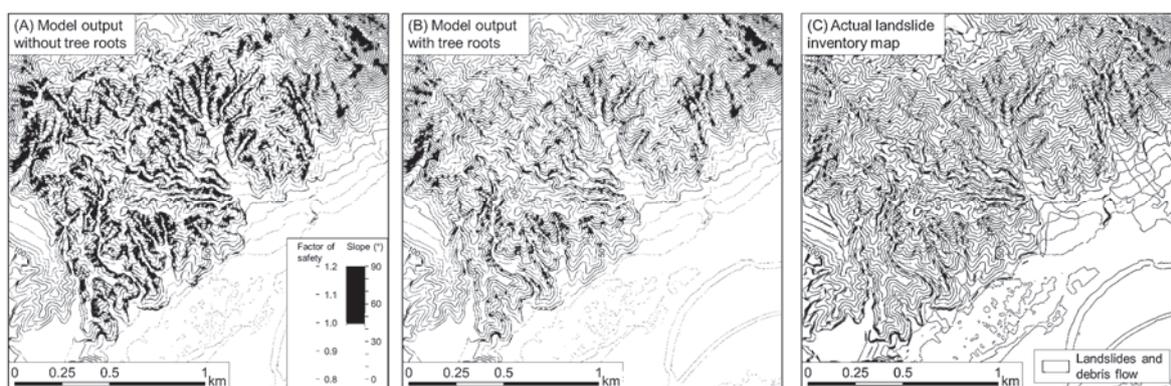


図4. モデルの出力としての斜面安定性の空間分布と実際の表層崩壊分布

3. まとめ

本研究では、モンスーンアジア地域における気候変動適応と減災実現に向けたソリューション提供を目標に、山地流域内の、どこから、どれほどの土砂が、どのような雨によって生産されるのかを定量的に算定しうるシステムを開発した。現象として斜面の表層崩壊を想定し、侵食予備物質としての土層の厚みの空間分布を、地理情報システム上での土層発達シミュレーションによって推定したうえで、植物根系による土層の補強効果を考慮しつつ、これを場の条件として、水の浸透に伴う間隙水圧の短期変動を計算することで、降雨の進行に伴う不安定領域の拡がり进行评估できる斜面安定カップリングモデルを構築した。日本国内において検討対象を設定し、水文観測、土質試験、同位体分析および植生調査等によって発災状況の再現解析に向けた水文・地形・生態プロセスの実態を把握するとともに、水文・地形モデルのパラメータ取得を進め、表層崩壊発生時の再現解析を行ったところ良好な結果を得た。

本研究の実施により、これまで比較的単純な経験則によって行われてきた土砂生産量の予測が、流域で実際に生起している具体的な水文・地形過程のモデル化を通じて、定量的に評価されうるようになった。これにより、地域社会に対して、より説得力のある土砂災害警戒・避難情報を提供することができる。また流域ごとに、地形を素因条件、降雨入力を誘因条件とした斜面から河道への土砂供給ポテンシャルのデータを付与することができるようになり、土砂・洪水氾濫現象の予測に至る道程を示すことができる。また、本研究の成果に基づき、降雨量と土砂生産現象との関係を、地質や地形等の素因条件および人為的な気候変動に伴う誘因条件の変化を考慮したうえで定量的に評価する方法を提案することができるものと期待される。このように、水文地形学的なモデリングを積極的に援用することで定量評価された土砂生産予測は、将来気候下における流域からの土砂生産現象の変容程度の評価や土砂災害想定のみならず、人工構造物の配備計画の検討や必要堆砂容量の算定、および土砂・洪水氾濫への対策立案にも役立てることができる。

熱帯泥炭地における洪水と火災の複合災害に関する研究

Compound Disaster of Flood and Fire in Tropical Peatland

山本 エヴァ¹, 佐山 敬洋¹, 甲山 治², 小川 まり子², 山本 浩大¹, アピプ³

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

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研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

³インドネシア国立研究革新庁

Indonesian National Research and Innovation Agency

Floods and fires occur alternately in the tropical peatland of Indonesia. These compound disasters should be addressed in an integrated manner including the socio-hydrological aspects. In this fiscal year, we clarified the accuracy of fire estimation using satellite data as well as the most suitable index to be used in the tropical peatland. We also investigated the possibility of using one hydrological model to address both floods and fires. The results show that the use of satellite data in fire index could give similar performance with the observed data. We also clarified that the use of soil moisture in the Peat Fire Vulnerable Index (PFVI) is important to estimate fire in the tropical peatland. Further, the preliminary results show that the RRI model show promising results to be used to estimate fire risk in a humid tropical basin.

Key Words : tropical peatland, compound disasters, floods, fire, remote sensing, hydrological model

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.

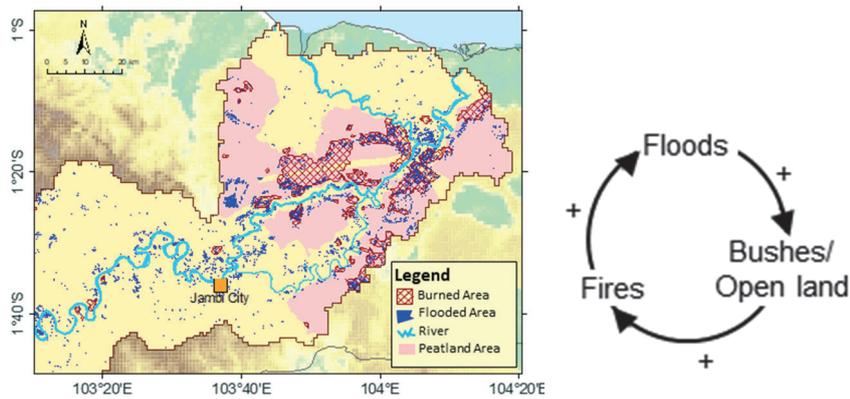


Fig.1 (a) Floods (Sentinel-1) and fires (Min. of Env. & Forestry) happened alternately in tropical peatland (b) Number of fires may increase in the future due to floods and land use change which in return, causes higher floods due to land subsidence.

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.

During this fiscal year we completed the 1st Stage and obtain preliminary results of the 2nd stage. This report explained these results.

2. Study Area

The study area (Fig. 2) covers Indonesian peatlands in Sumatra and Kalimantan islands. The climate in these peatland areas is humid tropics with $2,745 \pm 565$ mm of annual rainfall (JAXA GSMaP) and average maximum daily temperature of 31.2 ± 1.7 °C (ERA-5 Land). Most of the peat swamp forest were deforested leaving only 30% of forest cover in 2015. This region has two different patterns of rainfall (Aldrian et al., 2003). Central Kalimantan and South Sumatra have one long dry period, while Riau, Jambi and West Kalimantan have one short and one long dry period. The region experiences several episodes of fires and mostly due to exceptionally longer dry seasons and annual floods.

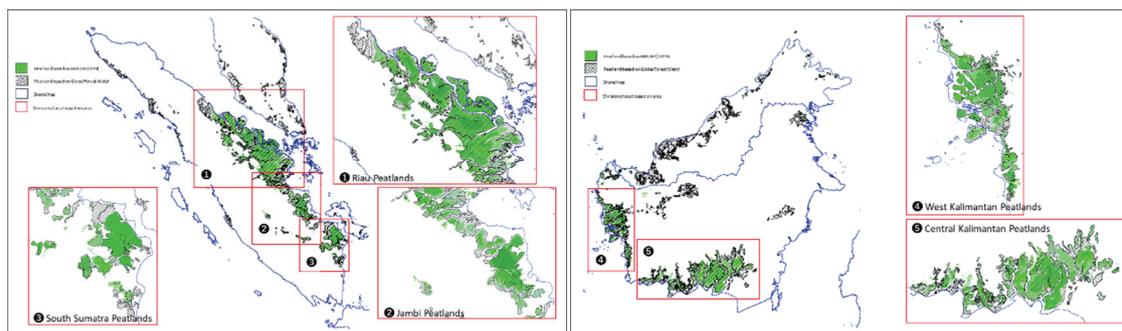


Fig.2 Study Area

3. Methodology

3.1. Fire Index

The objective of the 1st stage of this research is to understand the temporal and spatial pattern of fire and soil moisture using in-situ and remotely sensed hydrological data. In order to achieve this objective, we attempted to answer the following research questions:

1. How fire spatially and temporally distributed over the ISEA region?
2. Can fire index using satellite data has similar or better performance compare to observed data?
3. What is the most suitable fire index to be applied in tropical peatlands of ISEA region?

3.1.1 Data

Fires in peatlands predominantly occurs underground with low intensity burning and produce large amounts of particulate matters. Relatively smaller burned area which are frequently covered by clouds made detections harder in this area. Here, we use burned area from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) MCD64A1 C6 available from November 2000 with 500 m resolution. The product integrates 1 km MODIS active fire (MOD14/MYD14) detections with the 500 m reflectance data. The improved algorithm of C6 detects increased burned area particularly for fires between 21 ha to 100 ha. Further, study conducted by Vetruta et al. (2021) shown that MCD64A1 C6 shown better accuracy compare to the higher resolution FireCCI41, even though the detections are still underestimated by roughly half of the burned area. In this study we sample burned area within 10 km radius of BRG monitoring stations from 2015 to 2020 in order to relate to observed data.

The observation data for rainfall and soil moisture were obtained from 32 monitoring stations of Indonesian peatland restoration agency (BRG) The 10-min interval data were converted to cumulative daily rainfall (mm/d) and average daily soil moisture (cm³/cm³). We filtered out data which are out of physical range of measurement. For daily average air temperature data (°C), we use data from 21 monitoring stations of Indonesian Agency for Meteorological, Climatological and Geophysics (BMKG) located on/nearby the peatlands. Data availability varies from 1 April 2015 – 9 July 2020.

In this study we compared 3 fire indices to find the most suitable fire index to be used in tropical peatland. To calculate these indices, we used rainfall, air temperature and soil moisture data. We analyze the performance of a few satellite data and compare with observed data from BRG and BMKG stations.

The chosen data are the JAXA Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Operational v6 for rainfall, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis 5th Generation (ERA 5) for maximum daily temperature and soil moisture retrieved with Multi Temporal Dual Channel Algorithm (MT-DCA) (Konings et al., 2017) from SMAP L2 9 km. The SMAP radiometer employs L-Band frequency which enables soil moisture retrieval through moderate vegetation cover, regardless of cloud cover and day or night.

3.1.2 Fire indices

Here, we compare the accuracy three fire/drought indices, namely *KBDI*, soil moisture and *PFVI* to represent fires in the tropical peatlands. We calculated the indices based on the satellite data at the location of 32 BRG stations and fire occurrences within 10 km radius from the stations. The performance of each index is estimated using Area Under the Curve (AUC) of Relative Operating Curve (ROC).

Developed for Florida State, USA, *KBDI* is a proxy of cumulative soil moisture deficit by estimating the net effects of precipitation and evapotranspiration.

$$KBDI^t = KBDI^{t-1} + DF^t - RF^t \quad (3)$$

where *DF* is drought factor and *RF* is rainfall factor. The index is calculated by updating the previous day *KBDI* value (superscript t-1) using daily drought and rainfall factors (superscript t).

Here, we use the improved *DF* proposed by Taufik et al. (2015) to fit the conditions in the humid tropics:

$$DF^t = \frac{(203 - KBDI^{t-1})(0.4982e^{(0.0905 \times T_m + 1.6096)} - 4.268) \times 10^{-3}}{1 - 10.88e^{(-0.001736 \times R_0)}} \quad (4)$$

where T_m is daily maximum air temperature (°C) and R_0 is average annual rainfall (mm/year). After dry day(s), at least 5.1 mm of rainfall is needed to reduce the drought index.

$$RF^t = \begin{cases} (R^t - 5.1) & , R^t \geq 5.1 \text{ mm/day} & , 1^{st} \text{ rainy day} \\ R^t & , R^{t-1} \geq 5.1 \text{ mm/day} & , 2^{nd} \text{ and next rainy day} \\ 0 & , R^t < 5.1 \text{ mm/day} \end{cases} \quad (5)$$

where R is daily rainfall (mm/day).

Instead of using *KBDI* as a proxy, the progress in fields measurements and remote sensing technology opens the possibility to directly use soil moisture as fire index. Krueger et al (2017) argued that measured soil moisture is a better predictor than *KBDI* for large growing-season wildfires. Dadap et al. (2017) used satellite soil moisture to predict burned area in tropical peatlands. Here, we compare the effectiveness of using satellite soil moisture directly as fire index.

Further, Taufik et al. (2022) argued that in the wetland ecosystem such as tropical peatlands, the fire occurrences are influenced by groundwater level and soil water retention characteristics. He proposed to add a groundwater/soil moisture component in *KBDI*. The newly proposed index is called the Peat Fire Vulnerability Index (*PFVI*):

$$PFVI^t = PFVI^{t-1} + DF^t - RF^t - WTF^t \quad (6)$$

where *WTF* is water table factor which represent the contribution of groundwater table to the moisture content θ of the peat's surface layer:

$$WTF^t = a - b \times [(1 - \theta(h)^t) \times 300] \quad (7)$$

where a is weighting parameter for *WTF*, b is correction factor, $\theta(h)$ denotes moisture content as function of groundwater table depth h . Taufik et al. (2022) assumed pressure head in the top soil is equal to the water table depth and used van Genuchten equation to convert water table depth to soil moisture content. In this study, we directly use soil moisture content, instead of groundwater table depth.

Further, *PFVI* employs 30 cm of available water capacity which is different to *KBDI* (8 inch/20.3 cm), thus *DF* in *PFVI*

is:

$$DF^t = \frac{(300 - PFVI^{t-1})(0.4982e^{(0.0905 \times T_m + 1.6096)} - 4.268) \times 10^{-3}}{1 - 10.88e^{(-0.001736 \times R_0)}} \quad (8)$$

For model parameterization (a and b in WTF), instead of using observed drought index (DI_{obs}), we optimize them by maximizing AUC of ROC. Due to the high heterogeneity of peat characteristics which is exacerbated by development of drainage, the use of DI_{obs} cannot accurately describe fire occurrences. By using fire occurrences directly, we improve the accuracy of PFVI in describing fire risks over a large area. The limitation of this method is that it cannot be used in area where fire did not happen.

3.2. Hydrological Model for Fires and Floods Assessments

Hydrological models are often used as a tool to assess the risks of floods by simulating discharge and inundation extent. However, due to the importance to address both extremes, as part of the 2nd stage of this research our intention is to extend the use of hydrological models to simulate soil moisture for fire risk assessment in the future. There are two important aspects need to be assessed i.e. whether the hydrological model can represent the rainfall runoff process in the humid tropics and whether the model could produce the soil moisture realistically.

This study uses parameters from laboratory analysis of 69 out of 91 soil samples and use them in the RRI model to simulate rainfall runoff of a large river basin in humid tropical region. The objectives of this study were:

- (1) to understand the characteristics of soil properties in humid tropical region through a large number of soil samples
- (2) to understand how far we can represent a large-scale river basin process and storage-discharge relationship by directly using the measured soil parameters in the RRI model.

We chose one of large river basins with tropical peatlands i.e. Batanghari River Basin. The area of the basin is 43,960 km² with annual rainfall of 2021 ± 247 mm. The basin, especially the lowland area, is regularly flooded. In years with longer dry season, the basin suffered from forest and peat fires.

3.2.1. Field survey on soil characteristics

The National Research & Innovation Agency (formerly Indonesian Institute of Sciences (LIPI)) carried out field campaigns collecting 91 soil samples at 37 sites located in the river basin (Fig.3) at depth of 0-10 cm during May 2015 to August 2016. The sampling locations were determined with stratified random method all over the basins to represent the major landscape units of the basin. The disturbed soil samples were used to determine particle distribution and organic content. The undisturbed soil samples were used to obtain bulk density, hydraulic conductivity, and SWRC at matric potentials of 0 hPa, -10 hPa, -100 hPa, -330 hPa, and -1,500 hPa. All laboratory analysis was conducted in the laboratory of Indonesian Soil Research Institute (ISRI).

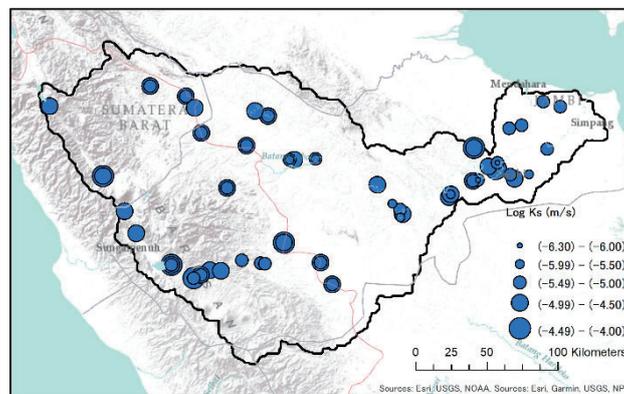


Fig.3 Sampling locations and saturated hydraulic conductivity in the river basin

3.2.2. The Rainfall-Runoff-Inundation model

3.2.2.1 Overview of the RRI model

The RRI model is a two-dimensional, distributed hydraulic and hydrological model that simultaneously simulates rainfall-runoff and flood inundation (Sayama et al., 2010). At a grid cell where a river channel is located, the model assumes that river and slope are positioned within the same grid cell. An interaction between slope and river is calculated based on overflowing formula depending on slope water level, river water level and levee height conditions. The model has several options for runoff generations mechanism to simulate lateral flow. At grid cells with relatively higher slopes such as ones in mountainous region, the lateral subsurface flow can be calculated based on storage-discharge relationship¹¹⁾ and the saturated excess overland flow is calculated by the 2D diffusive wave approximation of a shallow water equation. In flat area, the runoff mechanism can be governed by infiltration excess overland flow where infiltration rate is calculated by the Green-Ampt model and the overland flow is calculated by the diffusive wave approximation. At a river grid cell, river discharge is calculated based on the 1D diffusive wave approximation. These runoff generation mechanisms can be coupled with groundwater module to represent aquifer contribution to the discharge. The groundwater

module is an additional layer beneath the soil layer with vertical exponential decaying function of hydraulic conductivity and lateral flow following Darcy's Law (Sayama et al., 2015).

3.2.2.2 New storage-discharge relationship in the RRI model

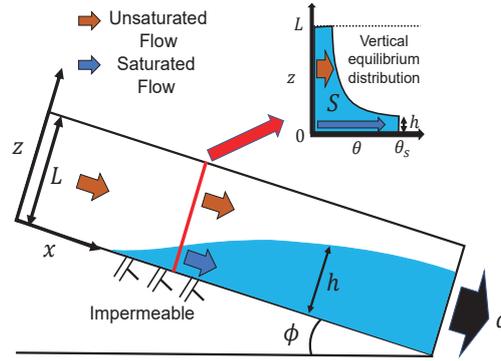


Fig.4 Slope runoff diagram in the latest storage-discharge relationship

As mentioned earlier, this study uses the latest storage-discharge relationship in the RRI model (Sugawara and Sayama, 2021). The diagram shown in Fig.4 describes the slope runoff used in the model, where x coordinate is parallel to the bedrock/impermeable layer and z -coordinate is vertical to the bedrock. Water storage S and lateral discharge q are defined as follows:

$$S = \int_0^L \theta dz \quad (1)$$

$$q = \sin\phi \int_0^L K dz \quad (2)$$

where θ is volumetric water content, K is hydraulic conductivity, L is soil depth, ϕ is slope angle. Brooks Corey and Mualem model is used as the function of SWRC and hydraulic conductivity described in equations (3) and (4) below.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \left(\frac{\psi_e}{\psi}\right)^\lambda & (\psi < \psi_e) \\ 1 & (\psi \geq \psi_e) \end{cases} \quad (3)$$

$$K = k_s \cdot S_e^n \quad \left(n = 2.5 + \frac{\lambda}{2}\right) \quad (4)$$

where S_e is effective saturation rate, θ_s is saturated water content, θ_r is residual water content, ψ_e is water entry pressure, λ is pore size distribution index, and k_s is saturated hydraulic conductivity. The model assumed that the rainfall which infiltrates to the soil layer is instantly distributed.

3.2.2.3 Model setting

The RRI model was set up based on earlier model set up (Yamamoto et al., 2019) including DEM, soil map, soil depth (3m), rainfall and evapotranspiration inputs for the entire Batanghari River Basin with 1 km resolution. In order to understand how far we can represent the soil storage in large river basin of humid tropical region, we use the RRI model to represent runoff mechanisms in all grid cells in the basin without bedrock groundwater module. We run two simulations for four years (2010 – 2013) using Brooks Corey parameters (θ_s , θ_r , ψ_e and λ) obtained from data samples and from default setting of HYDRUS software (based on Carsel and Parrish, 1988). We use two years warm up period (2010 – 2011) in both simulations. We compare the results of the remaining 2 years. We increase the saturated hydraulic conductivity k_s from the soil sample and HYDRUS software two magnitudes higher to represent other faster subsurface flow in the basin such as pipeflow or preferential flow.

4. Results and Discussions

4.1 Fire Index

4.1.1. Using satellite data for fire predictions

The accuracy of satellite data usage in this region was sometimes questioned due to several reasons such as the thick vegetation cover (for soil moisture retrieval) (Takeuchi et al., 2016) or complex topography and intricate configuration of islands (for rainfall) (Argueso et al., 2020). The satellite rainfall is also known to underestimate the consecutive dry days as it tends to overestimate low rainfall. During the evaluation of the performance of satellite products in the tropical peatlands we also found out that the all satellite rainfall cannot detect CDD higher than 2 weeks while observed data showed much longer dry days. The soil moisture retrieval in Sumatra and Kalimantan islands was possible after deforestation as only 6.7% pristine peat swamp forests remains (Miettinen et al., 2016). Only 15% of the region has Vegetation Transmissivity less than the commonly penetration threshold for microwave remote sensing (Ulaby, 1986, Dadap et al., 2019). The comparison with observed data shows that the daily fluctuation of soil moisture can follow the

observation patterns, particularly for stations located in thin peat layer, even so, the satellite data value is constantly below observation.

Given the above circumstances on the performance of satellite datasets in the region, this study attempts to clarify whether using dataset in fire index can give similar accuracy in predicting fire compare to using observation data. We carried out experiment to understand the performance of index using satellite data, and observation data, and also the combination of satellite and observed data i.e. observed soil moisture + satellite rainfall and satellite soil moisture + observed rainfall. With limitation of observed data period, only 4 stations in West Kalimantan experienced fire in 10 km radius.

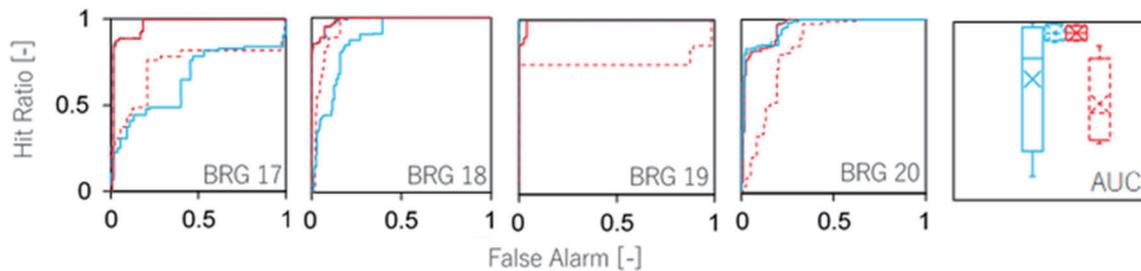


Fig. 5. ROC of PFVI using observation data (continues blue line), satellite data (continues red line), combination of observation soil moisture and satellite rainfall (dashed blue line) and combination of satellite soil moisture and observed rainfall (dashed red line)

The performance of fire index using satellite data is comparable, if not, better than the index using observed data as shown in Figure 5. The AUC of index using satellite data ranged between 0.994-0.954 while the one using observed data has wider variation (0.999-0.659). Even though in two stations (BRG 19 and 20) the index using observed data is slightly better, however the performance is significantly worse in the other two stations. This results lower average performance compares to the performance using of satellite data. The experiment using combination of satellite and observed data shows that the use of satellite rainfall improves the index performance regardless of soil moisture data used.

4.1.2 Best index for tropical peatland

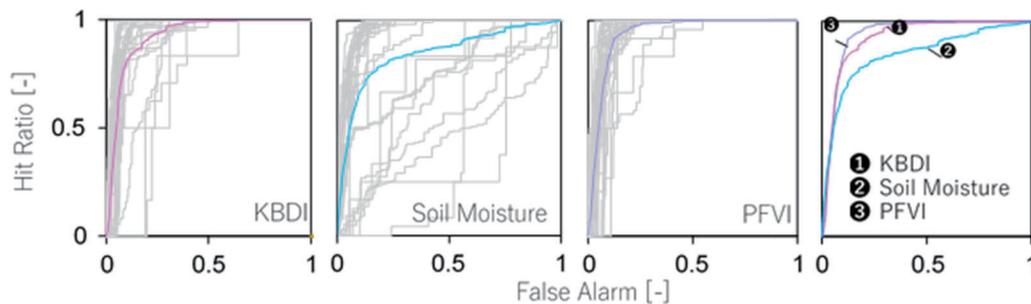


Fig. 6 Comparison ROC of KBDI (pink), Soil Moisture (blue), PFVI (purple). Grey lines are ROC for each station and coloured line are average.

In average, KBDI and PFVI have excellent performance based on AUC (Fig. 6) while soil moisture has good performance in the tropical peatland. The AUC for KBDI is 0.923 (0.705 - 0.97) and for PFVI is 0.937 (0.822 - 0.984). On the other hand, using soil moisture directly has good performance with average AUC of 0.846. While AUC for KBDI and PFVI in each station never less than 0.7, the AUC for soil moisture can be as low as 0.388. This indicates that in some locations, using only soil moisture to estimate fire risks may not be as accurate.

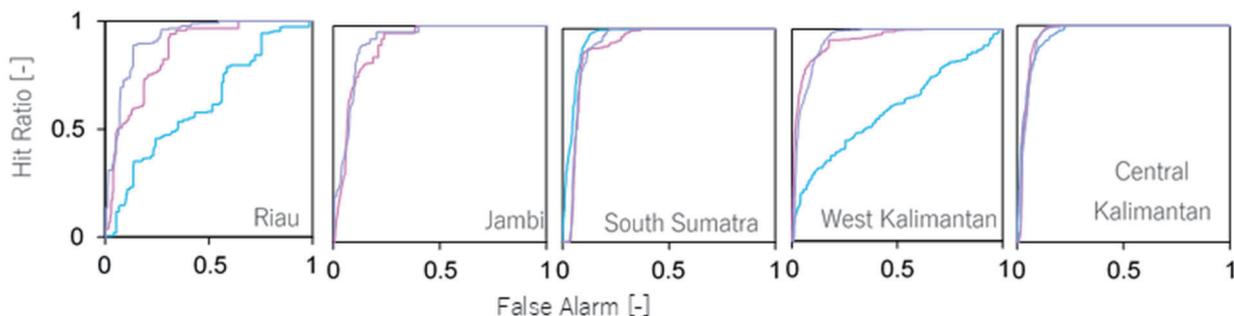


Fig. 7 comparison of indices in 5 regions

Fig. 7 shown comparison of indices in the 5 regions (see Figure 1). All indices showed excellent performance (AUC >0.9) in most regions except in Riau and West Kalimantan. The AUC for soil moisture index in the two regions is around 0.6 which indicate that it should not be used as an index. Particularly in Riau, using KBDI as index is significantly lower than using PFVI. The AUC of KBDI is about 0.8 while PFVI is above 0.9. This indicates that in Riau province, it is important to use both weather and soil moisture information for fire risk assessment.

4.2. Hydrological Model for Fires and Floods Assessments

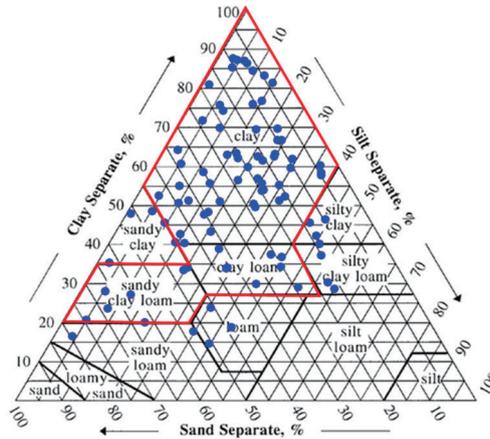


Fig.8 Textural class distribution of 91 soil samples (samples inside red polygon (69 samples) were used in this study)

4.2.1 Field survey on soil characteristics

The particle distribution of soil samples shows that the river basin is dominated by clay (62%), clay loam (10%) and sandy clay loam (8%) (based on USDA classification). The fractions of other soil types are less or equal to 5%. This is in line with the FAO soil map used as default soil map of the RRI model. The textural distribution is shown in Fig.8.

We obtained Brooks Corey parameters (θ_s , θ_r , ψ_e and λ) for each soil class texture by fitting the volumetric water content and matric potential data to the reference SWRC (Fig.9 and Table 1).

The SWRC parameters obtained from humid tropical river basin soil have significant difference with a default SWRC parameters with soil data primarily obtained from the temperate region (Carsel and Parrish, 1988). The soil in the river basin has in general 19%-50% higher saturated soil moisture and lower residual soil moisture compare to the typical temperate soils.

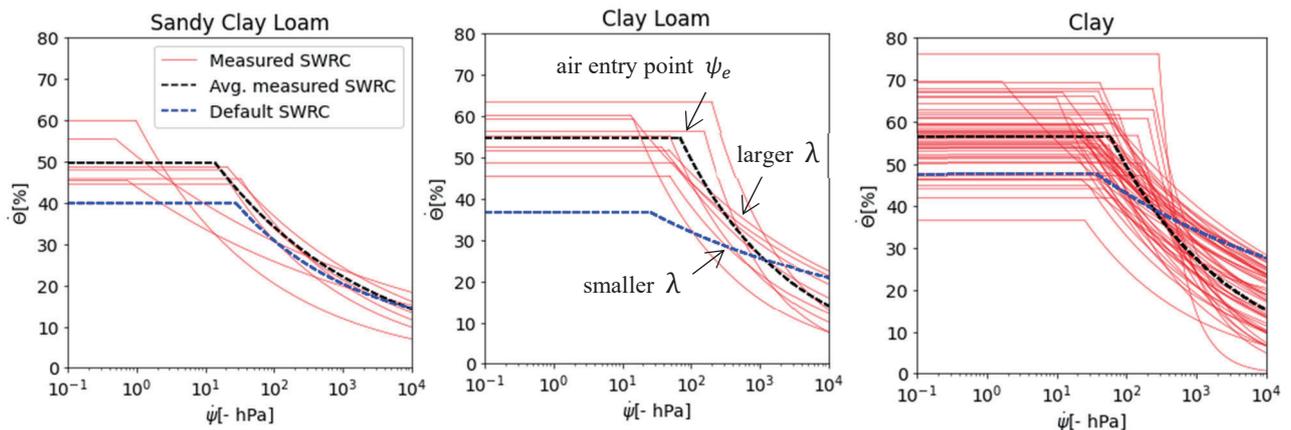


Fig.9 Comparison between the measured SWRC curves and default SWRC curves (Carsel and Parrish, 1988)

These results are in line with previous studies in tropical region (Matthews et al., 2014 and Rustanto et al., 2017). The air entry point in clay and clay loam are lower compare to the temperate soils. The pore distribution density (λ) of soil samples is higher in clay and clay loam types indicating higher variation of pore sizes in the tropical soil. Based on the difference of saturated and residual soil moisture values, the soil in the humid tropics should be able to store more water. However, a higher air entry point, particularly in clay soil, indicates that once saturated, the soil requires more suction head to start desaturate thus may remain saturated longer.

Table 1 Brooks Corey parameters based on soil samples and HYDRUS software

Parameters	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Clay
<i>Observed parameters</i>			
θ_s	0.496	0.547	0.562
θ_r	1.12E-19	1.22E-4	3.13E-3
ψ_e [m]	-0.138	-0.689	-0.598
λ	0.189	0.274	0.259
S_{thre} [m]	0.979	1.24	1.26
<i>Default parameters (Carsel and Parish, 1988)</i>			
θ_s	0.398	0.366	0.475
θ_r	0.068	0.075	0.09
ψ_e [m]	-0.281	-0.259	-0.37
λ	0.250	0.194	0.131
S_{thre} [m]	0.861	0.851	1.22

4.2.2 Model simulation

The first simulation was carried out to understand how much RRI model can represent differences in terms of soil water storage of a large-scale basin in humid tropics by contrasting simulation using observed parameters and default soil parameters obtained in the temperate region (Table 1).

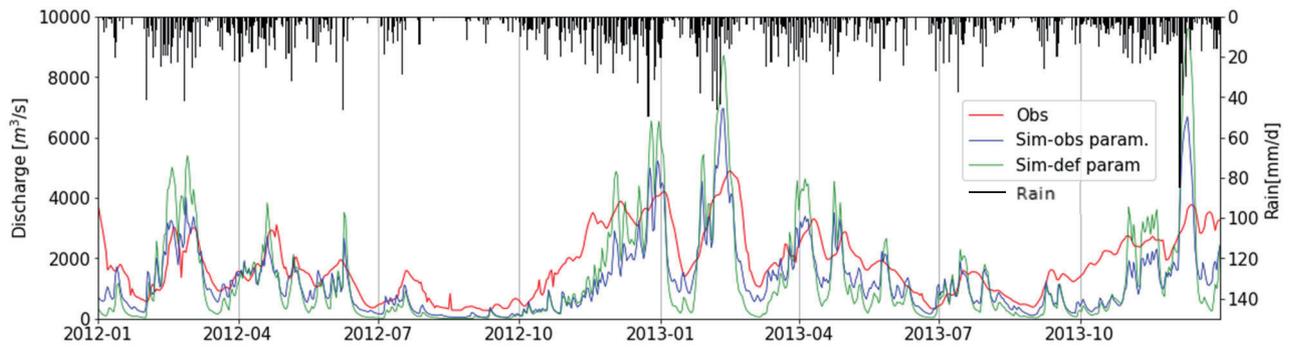


Fig.10 Hydrographs of observation (Obs) and simulation results using measured (Sim-obs) and default (Sim-def) parameters

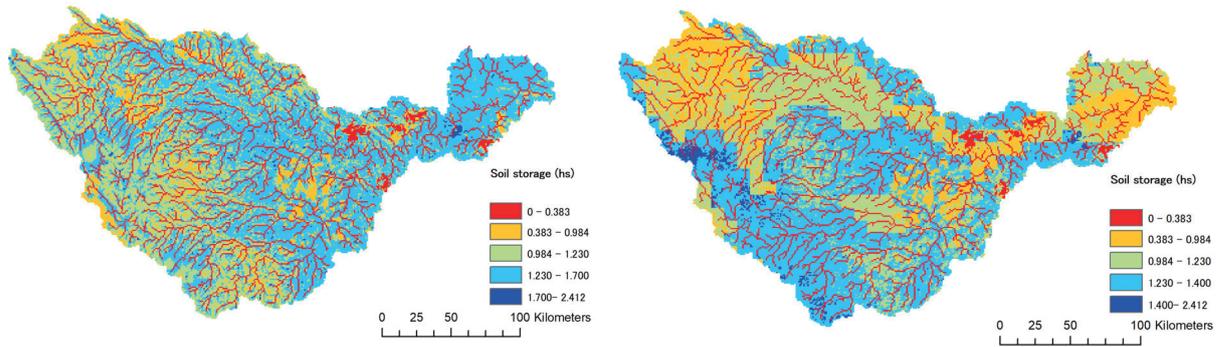


Fig.11 Soil storage in dry period (11 August 2012) using observed parameters (left) and default parameters (right)

In both simulations, the RRI model is able to follow the pattern of observed discharge, even though the Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) values can still be improved (Fig.10).

One of the reasons of low NSE value is that the simulation could not reproduce the stable baseflow in dry season (low rain period) which in observed hydrograph is maintained stable at around 300 m³/s. Without the baseflow, the simulation hydrograph cannot follow the slow and smooth rising rim.

The simulation using observed parameters results in higher NSE value (NSE: 0.151) compare the one using default parameters (NSE: -0.538). The simulation using default parameters has higher fluctuations compares to the one with observed parameters. One of the reasons of the higher fluctuation in discharge is the difference in Brooks Corey parameters (θ_s , θ_r , ψ_e and λ). Based on these parameters the S_{thre} (Table 1) is in general lower in default soil compare to observed soil. During the rainy period, soils with lower S_{thre} can be easily saturated and produce more discharge. During the recession period, both simulations show that discharge decreases similarly in high to medium discharge. However, when the discharge is below 2,000 m³/s, the recession in simulation using observed parameters is

milder than the one using default parameters. This can be because the unsaturated discharge in simulation using observed parameters is higher than the one using default parameter due to the difference in Brooks Corey parameters.

The model is able to show the clear difference of distribution of soil storage in the basin between the two simulations using tropical and temperate soil parameters (Fig.11). The soil storage using observed parameters has more homogenous pattern compare to the one using default parameters. The soil distribution using default parameters show distinct difference between soil types thus results in conspicuous soil pattern in the soil storage distribution, particularly between clay and other types of soil. As mentioned in the introduction, earlier studies on tropical soil highlighted the uniqueness of clay soil in the tropical region which shares some similarities with other type of soils in the region. Fig.9 shows that the SWRC of the three tropical soils (black dashed) is relatively similar, however the SWRC of the temperate soils (blue dashed) shows significant difference between clay and 2 other soil types.

This study shows that simulation using the RRI model can directly use measured soil parameters obtained through soil sampling and the model is able to show clear differences in soil storage distribution of different types of soils.

The second simulation was carried out with groundwater module to enable stable low flow during dry period. The hydraulic conductivity in groundwater layer and the recharge rate is to be slightly less than the saturated soil conductivity. This setting is in line with the findings from monitoring sites in the same river basin where the groundwater flow through a weathered bedrock along the hillslope or flow below bedrock appear at the foothill of a hillslope¹⁾.

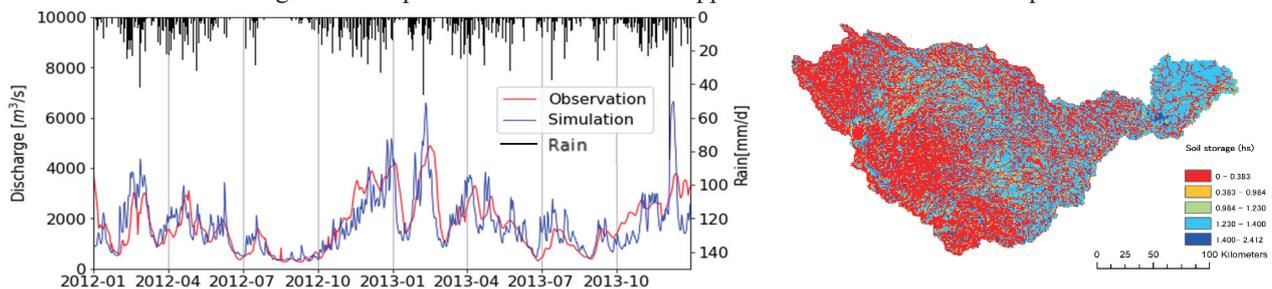


Fig.12 Simulation using observed soil parameters and groundwater module (left) and soil storage distribution on 11 August 2012

The simulation hydrograph shown in Fig.12 gives a significantly better NSE value (NSE: 0.45) compare to earlier simulations using only soil layer. In particular, low flow during the dry season and recession during rainy season are closer to observed value compare to simulation using only soil layer. This is in line with earlier studies in the basin where (Yamamoto et al., 2019) shows improvement by using additional groundwater module in addition to green ampt for runoff generation process.

Soil storage during dry season (Fig.12) is much smaller compare to ones without ground water model. Since the model assumes that ground water recharge rates are constant regardless of soil water amount, most of soil storage recharges to groundwater during dry season.

5. Conclusions

5.1. Fire Index

Based on the results, this study shows that the use of satellite-based data in PFVI can give similar, if not, better accuracy in predicting fires compare of field-measured data. Even though the period and number of stations used in this study is limited, however, it can give fair assessment of the data reliability for fire management. This study also compared the performance of three fire indices in tropical peatlands of Indonesia. The results show that PFVI is the most suitable index to be applied in the region.

5.2. Hydrological Model for Fires and Floods Assessments

This study shows that the advancement in the RRI model which uses soil parameters directly indicating high potential to be used in humid tropical region. The NSE value resulted from the simulation improved significantly from the application using Green-Ampt and groundwater module. The ability to clearly differentiate soil storage distribution with different soil properties shows high potential for the future use in fire risk assessment.

References

- 1) Aldrian, E. and Dwi Susanto, R.: Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.*, Vol. 23, pp.1435-1452, 2003.
- 2) Amegual, A., Homar, V., Romero, R., Alonso, S., and Ramis, C.: A statistical adjustment of regional climate model outputs to local scales: application to Platja de Palma, Spain. *Jour. of Clim.*, Vol. 25 (3), pp. 939-957, 2012
- 3) Argueso, D., Romero, R., and Homar, V.: Precipitation Features of the Maritime Continent in Parametrized and Explicit Convection Models, *Jour. of Clim.*, Vol.33:6, pp.2449-2466, 2020.
- 4) Carsel, R. F., & Parrish, R. S.: Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research*, Vol.24(5), pp.755-769, 1988.
- 5) Dadap, N.C., Cobb, A.R., Hoyt, A.M., Harvey, C.F., and Konings A.G.: Satellite soil moisture observations predict burned area

in Southeast Asian peatlands. *Env. Res. Lett.* 094014, 2019.

- 6) FAO/UNESCO. 2003. Digital Soil Map of the World and derived soil properties. FAO, Rome, Italy.
- 7) Keetch, J.J., and Byram, G.: A drought index for forest fire control. *Res. Paper SE-38*, 1968.
- 8) Konings A G, Piles M, Das N and Entekhabi D.: L-band vegetation optical depth and effective scattering albedo estimation from SMAP. *Remote Sens. Environ.*, Vol.198, pp.460–70, 2017.
- 9) Krueger, E.S., Ochsner, T.E., Quiring, S.M., Engle, D.M., Carlson, J.D., Twidwell, D. and Fuhlendorf, S.D.: Measured Soil Moisture is a Better Predictor of Large Growing-Season Wildfires than the Keetch–Byram Drought Index. *Soil Science Society of America Journal* Vol.81, pp.490-502, 2017.
- 10) Marthews, T.R., Quesada, C.A., Galbraith, D.: High-resolution hydraulic parameter maps for surface soils in tropical South America, *Geoscientific Model Development*, Vol. 7, No. 3, pp. 711-723, 2014.
- 11) Miettinen, J., Shi, C., and Liew, S. C.: Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990. *Global Ecology and Conservation*, Vol. 6, pp.67-78, 2016.
- 12) 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.*, Vol. 58, pp.1370– 1387, 2021.
- 13) P. Smith, J. Adams, D.J. Beerling, T, et al.: Land-management options for greenhouse gas removal and their impacts on ecosystem services and the sustainable development goals, *Annu. Rev. Environ. Resour.*, Vol. 44, pp.255-286, 2019.
- 14) Rustanto, A., Booi, M. J., Wösten, H., Hoekstra, A.: Application and recalibration of soil water retention pedotransfer functions in a tropical upstream catchment: Case study in Bengawan Solo, Indonesia, *J. of Hydrology and Hydromech.*, Vol. 65, No. 3, pp. 307-320, 2017.
- 15) Sayama, T., Araki, R., Yamamoto, K., Apip : Characteristics of soil and hillslope responses in humid tropical forests in Sumatra, Indonesia, *Hydrological Research Letters*, Vol. 5(2), pp. 23-30, 2021.
- 16) Sayama, T., Kosugi, K., Iwami, Y. : Development of distributed rainfall-runoff model simulating for mountainous groundwater. *JSCE B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol.71, No.4, I_331-I_336, 2015. (In Japanese)
- 17) Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S. and Fukami, K. : Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. *Hydrological Sciences Journal*, Vol.57 (2), pp.298-312, 2012.
- 18) Sugawara, Y., Sayama, T. : Development of a storage discharge relationship to reflect water retention curve, and its application to a distributed runoff model. *JSCE (Hydraulic Eng.)*, Vol.77, No.1, pp.124-135, 2021. (In Japanese)
- 19) Supiandi, S. : Studies on Peat in the Coastal Plains of Sumatra and Borneo: Part I Physiography and Geomorphology of the Coastal Plains. *Southeast Asian Studies*, Vol.26, pp.308–335, 1988. (in Japanese).
- 20) Susiwidiyaliza : Study the impact of oil palm expansion on the hydrological functions of Batang Tabir watershed using SWAT model. Master's Thesis, Bogor Agricultural University, Bogor, Indonesia, 2015. (in Indonesian).
- 21) Tachikawa, Y., Nagatani, G., Takara, K.: Development of stage-discharge relationship equation incorporating saturated-unsaturated flow mechanism, *JSCE (Hydraulic Engineering)*, Vol.48, 2004. (In Japanese)
- 22) Takeuchi W., Hirano T., and Roswintarti O.: Estimation model of ground water table at peatland in Central Kalimantan, Indonesia, In: Osaki M., Tsuji, N. (ed.), *Tropical Peatland Ecosystems* (Berlin: Springer), Ch.30, pp.445–53, 2016.
- 23) Taufik, M, Marlina, T.W., Sulaiman, A., et al.: An improved drought-fire assessment for managing fire risks in tropical peatlands, *Agr.& For. Met.*, Vol. 312, 109738, 2022.
- 24) Taufik, M, Setiawan, BI, and van Lanen, HAJ.: Modification of a fire drought index for tropical wetland ecosystems by including water table depth. *Agriculture and Forest Meteorology*, Vol.203, pp.1-10, 2015.
- 25) Tomasella, J., Hodnett, M. : Pedotransfer functions for tropical soils, *Dev. in Soil Sci.*, Vol. 30, pp. 415–429, 2004.
- 26) Ulaby F. T., Moore, R. K. and Fung, A. K.: *Microwave Remote Sensing, Active and Passive, Volume II: Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory* (Norwood, Massachusetts: Artech House, Inc.), 1986.
- 27) Verita Y., Cochrane, M.A., Suwarsono, Priyatna, M., Sukowati, K.A.D., and Khomarudin, M.R.: Evaluating accuracy of four MODIS-derived burned area products for tropical peatland and non-peatland fires, *Environ. Res. Lett.*, Vol.16 035015, 2021
- 28) Vieira, L. S. , Santos PCTC : *Amazônia: Seus Solos e Outros Recursos Naturais*. In Editora Agrônômica Ceres, São Paulo, Brazil, 416p (in Portuguese), 1987.
- 29) Yamamoto, E.M.S., Sayama, T., Yamamoto, K., Apip. : Comparison of runoff generation methods for land use impact assessment using the SWAT model in humid tropics, *Hydrological Res. Letters*, Vol. 14, No.2, pp. 81–88, 2020.
- 30) 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.).
- 31) Yamamoto, K., Sayama, T., Apip, Takara, K. : Applicability of rainfall-runoff-inundation model in a humid tropical river basin. *JSCE (Hydraulic Engineering)*, Vol.75, No.2, I_253-I_258, 2019. (In Japanese)

河床変動を考慮した中流域の蛇行流路河川の 最適な河川整備の検討

Suitable river regulation work for meandering rivers in midstream region considering
bed deformation characteristics

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

The characteristics of channel deformation were discussed using two-dimensional bed deformation analysis, and the optimal planform of the Bago River was examined from various viewpoints such as flood control, natural environment, and cost of river regulation works. As a result, it is considered that the most effective river regulation works is to maintain the current meandering planform of the Bago River as much as possible.

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。バゴーの市街地から約15km北でバゴー川は平野部に流れ込み、緩勾配域に形成される沖積蛇行流路となっている。蛇行流路の河床勾配は、氾濫原の地盤勾配よりも緩くなり、水の流下が遅い。また、湾曲部では流れが外岸に集中するため、河岸浸食を発生させるとともに、外岸の水位が高くなり、洪水が氾濫しやすくなる。そのため、日本の多くの沖積蛇行河川は、治水を目的とした河川整備によって直線的な平面形状に河道形状を改修することが多い。しかし、河道形状の直線化は様々な問題を発生させることが多い。そこで、本研究では、平面二次元の数値シミュレーション¹⁾などによってバゴー川の河床変動特性を明らかにし、治水、自然環境、河川整備コストなど様々な視点で最適なバゴー川の平面形状について検討するものである。

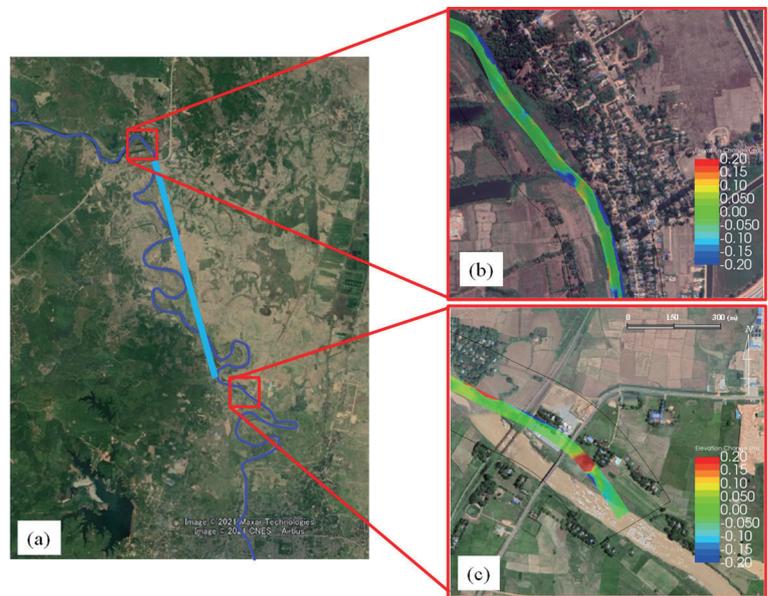


図1 蛇行流路の直線化による河床変動 (背景 : Google Earth)

2. 蛇行流路の直線化による河床変動特性の検討

図1 (a) に水色で示す約10kmの区間の蛇行流路を直線化することによる河床変動特性を平面二次元河床変動解析によって検討した。図1 (b) と (c) は解析領域上流端付近と下流端付近の河床変動量を示す。図に示

すように、上流域では浸食が卓越し、下流域では堆積が卓越していることがわかる。これは、図2に示すように、蛇行流路を直線化すると、河床勾配が急になり流砂量が増える。一方、直線化された河道に接続する上流及び下流の蛇行流路区間の流砂量は河道を直線化する前と比べて大きく変化はしない。そのため、直線化した区間の上流域は、流入する流砂量と比較して流出する流砂量が大きくなり、河床低下が発生する。一方、直線化した区間の下流域は、流入する流砂量と比較して流出する流砂量が小さくなり、河床上昇が発生する。その結果、直線化した領域の上流側の治水安全度は上昇するが、下流域は河積が小さくなり、容易に洪水が氾濫する状況となる。河道を直線化した区間の南にはバゴーの市街地があり、河道直線化によってバゴー市街地が頻繁に水に浸かることとなる。海に接続するような場所で河道を直線化した場合は、直線化した領域の下流が海域なので大きな問題は発生しないが、対象地点のような河道中流域で蛇行流路を直線化する場合は、氾濫開始地点を下流に移動させるだけであまり有効な治水対策とならないことがわかる。なお、直線化した領域の下流域の河積減少を防ぐためには、河道掘削を毎年ように実施する必要がある、コストのかかる治水対策となる。

一般に、蛇行した河道内の物理環境は、内岸に砂州が形成されるとともに、外岸で河床低下が発生するため、水深の浅い場所・深い場所、流速の速い場所・遅い場所などが形成され、多様な物理環境が形成される。一方、直線化した河道内では、どの場所においてもほぼ同じ水深と流速となり、単調な物理環境となる。そのため、河道内に生息・生育可能な動植物の種類は、河道の直線化によって減少することが多く、河道内の生態システムが破壊されることがある。つまり、河道内の動植物にとっては、現在の蛇行流路の形状を維持する方が良いことが多い。図3に2006年と2020年のバゴー川の衛星写真を示す。14年経過しているにも係わらず両河道平面形状はほぼ同じである。つまり、バゴー川の蛇行流路形状の時間的な変化は非常に緩やかであり、湾曲外岸部の河岸浸食対策などの治水を目的とした河川整備は、小規模なもので対応可能であることがわかる。昨年度までの検討で、対象地点の洪水氾濫対策は分派流路の利用が有効であることが明らかとなっている。これらのことを総合的に考えると、バゴー川の蛇行流路については、直線化せずに現在の蛇行流路形状を維持した状態での河川整備が有効であると考えられる。

3. まとめ

ミャンマー・バゴー市上流域のバゴー川蛇行区間を対象として、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。バゴー川の直線化は上流域の河床低下と下流域の河床上昇を発生させる。下流域の河床上昇は、バゴー市街地の洪水氾濫リスクを高める。そのため、継続的な河道掘削が必要であり、経済的に有効な治水対策ではない。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。また、バゴー川の流路変動速度は非常に遅く、簡易な護岸設備で流路変動を抑制できる。そのため、現在のバゴー川の蛇行平面形状を可能な限り維持しながら洪水対策を進めることが有効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.

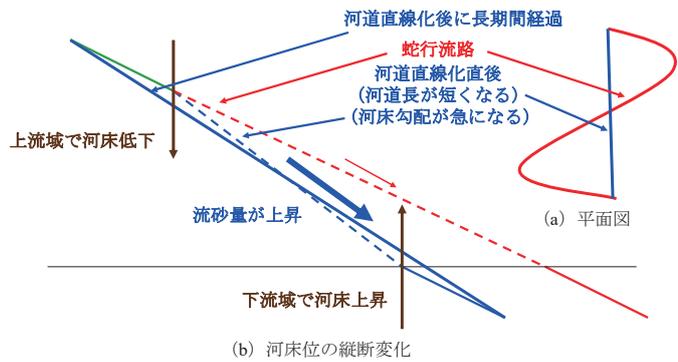


図2 蛇行河川の直線化による河床低下及び河床上昇



図3 バゴー川蛇行区間の流路変動 (背景: Google Earth)

持続可能な防災施設としてのグリーンベルトの整備

Greenbelt for Disaster Prevention and Sustainable Development

平石哲也¹, 馬場康之¹, 張 哲維¹, ノエルディン・バジル¹

Tetsuya HIRAISHI 1, Yasuyuki BABA 1, CHANG Che-Wei 1, Noerdin BASIR 1

¹京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

This paper describes the detail of experiment for wave-dissipating performance of dense mangrove-layer at first. The experimental results demonstrate the applicability of the dense mangrove layer (Greenbelt) to reduce the coastal wave and tsunami energies. Secondary, the field survey on the mangrove characteristics and local landscape condition proper to them are carried out in the Iriomote Island, Okinawa Prefecture, Japan. The local society performances needed to the development of mangrove projects is discussed finally. An additional movable seawall to protect the first wave of tsunami is proposed for the coastal protection as the combination with the greenbelt.

Key Words : Greenbelt, Mangrove, Sea wave, Tsunami, Movable tidal wall, Hydraulic experiment, Field survey

1. はじめに

本研究では、防波堤等のハード対策が進まない地域を対象として、高波および津波を海岸部で抑止できる環境にやさしい施設としてグリーンベルトを提案し、その持続可能な発展と維持に資することができる研究を進めるものである。令和4年度は、グリーンベルトの代表としてマングローブ林を取り上げ、その効果を定量的に把握するために実験を実施した。そしてその特性を調べるために、現地調査を行った。最後に、現地での社会ニーズを発掘するための提言をまとめた。

2. マングローブ林の波浪減勢効果

マングローブ等の沿岸樹木林を活用したグリーンベルトによる波浪減勢効果を実験で調べるために、2次元水路で水理模型実験を行った。実験に用いた水槽は、京都大学防災研究所附属宇治川オープンラボラトリーにある多目的水路である。この水路は長さ45m、幅1m、深さ1mである。この水路中に、模型マングローブを設置し、造波装置で波を作用させ、波高を測る器具で変化を測定した。模型マングローブは、沖縄県西表島において現地生育種を3Dスキャナーで形状をコピーし、それを3Dプリンターで再現したもので、縮尺は1/5である。

実験では、実験スケールで4m長さにおよそ15列のマングローブを配置し、波高変化を測定した。水深は、実験スケールで5および10cmとした。その結果、水路終端で20-30%の波高減衰が観測された。ただし、水路底面での減衰も含まれており、現在、マングローブ樹木林による減衰効果と水路底面による減衰を分ける解析を実施している。写真1に実験状況を示す。

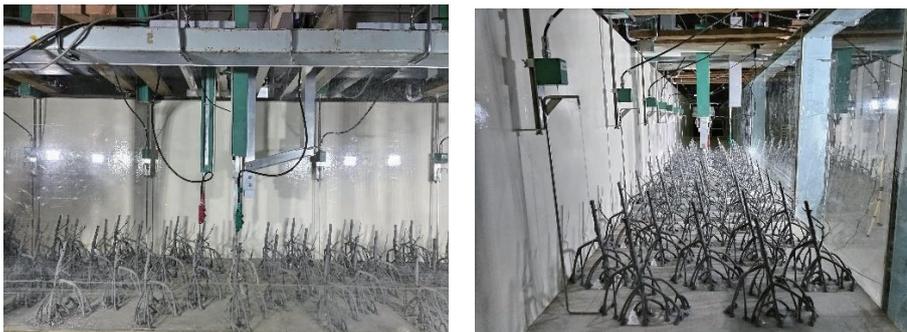


写真1 マングローブ林の波浪低減効果に関する実験（左：水路横から、右：水路内）

3. マングローブ樹木の現地調査

現地におけるマングローブ樹木の実態を調べるために、沖縄県西表島において現地調査を行った。マングローブは、干潮と満潮との間に広がる樹木林の総称で西表島では9種類の樹木がみられる。代表はヤエヤマヒルギで最も低い位置に広く分布している。最も希少な種はニッパヤシで、単独の根から生育した樹木が数本あるのみである。同一の河口でも、右岸と左岸で樹木種が異なる場合があり、グリーンベルトの樹木種を選ぶときは、周辺の地形や潮位の変化、日照などを考慮し、適切に樹木種を選択することが重要である。写真2に現地でのマングローブ樹木種の生育状況を示す。河川の両岸で、生育種が異なることもあり、グリーンベルトにおける種の選択には、十分な調査が必要である



写真2 西表島のマングローブ樹木の現状

4. グリーンベルトの地域への適用

グリーンベルトは持続可能な防災施設として機能するので、ハードな防災システムの弱い国々においてより効果を発揮できると考える。一部の地域では農地の開墾や炭の生産のためにマングローブの伐採が進んでおり、土壌自体が流出をしている。したがって、グリーンベルトの創出のためには、地域の社会構造の改良が必要で、現地の社会構成に根付いた活動が望ましい、

最初に行うことは、まずこれ以上のマングローブ林の伐採をやめ、樹木林の海岸線からの後退を止めることである。これは地域における意思の統一と別の収入源の確保が必須で問題の解決は難しく、現地における防災の重要性の説明だけが頼りかもしれない。次に、マングローブ等の植林であるが、基本的には、元から生育していた種を育てることで、植林は可能である。新たに種を育てるときには、その地の条件に適合した種類を選ぶことが重要で、そのためには、現生の樹木林の現地調査が必須になる。

なお、マングローブ林の樹木林を活用する一方、若干の加工を施して可動型防潮堤として活用する手法が提案されている。飯干ら(2002)¹⁾は、海岸で津波の第1波を自動で抑止する可動型防潮施設として”防波扉“を提案している。これは、現地の木材を活用して、津波来襲時に立ち上げる可動型の防潮堤で図1のような構造を有する。マングローブ等の樹木林の背後に設置してもより効果を高めることができ有効である。

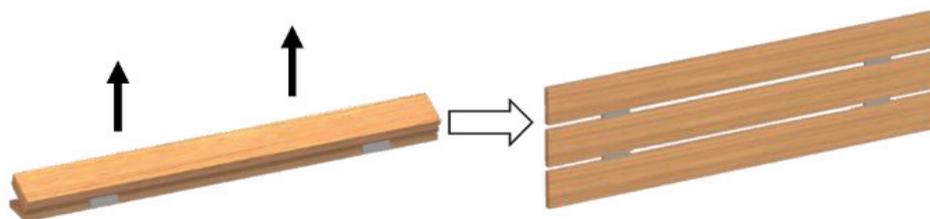


図1 可動型木製防潮施設”防波扉“のイメージ図

参考文献

- 1) 飯干 歩・平石哲也・濱田英外・森田章一、可動式津波低減設備”防波扉“の適用性の検討、自然災害科学、40-4、453-464、2022。

水文・気象情報を活用した熱帯泥炭地火災のリスク評価

Risk Assessment of Tropical Peatland Fires Using Hydro-Meteorological Information

小川 まり子¹, 甲山 治¹, 佐山 敬洋², 山本 エバミア シスカ²,
山本 浩大², 亀岡 大真³

Mariko OGAWA¹, Osamu KOZAN¹, Takahiro SAYAMA² and Eva Mia Siska
YAMAMOTO², Kodai YAMAMOTO², Taishin KAMEOKA³

¹京都大学 東南アジア地域研究研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

²京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

³国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

Japan International Research Center for Agricultural Sciences

In tropical peatlands, large-scale fire is a serious problem due to open burning etc during dry season in El Niño years. Although fire index (FI) has been improved many times, it is necessary to grasp characteristics of groundwater level (GWL) in each area when considering GWL threshold using FI. However, in Riau Province, Indonesia, the characteristics of GWL variability in each region are not well understood. This study investigates the response relationship between GWL and working rainfall for each topography in Bengkalis, Riau Province and its surrounding area. FI is also calculated using rainfall information and discussed with GWL. There were variations in GWL threshold for each station, and also variations in GWL with respect to FI. These results could be partially explained by topography.

Key Words : tropical peatlands, fire index, groundwater level, rainfall, topography

1. はじめに

東南アジア沿岸部の低湿地に広がる熱帯泥炭地では 1970 年代から、アブラヤシ・アカシア等の栽培のためのプランテーション開発により森林が荒廃し乾燥化（地下水位の低下）が生じてきた。エルニーニョの年には乾季が長引き、野焼きなどにより大規模火災が発生してきた。最近では 2015 年、2019 年にインドネシア・カリマンタン島やスマトラ島で大規模火災が発生し、深刻な問題となっている。

主な火災インデックスは従来から *KBDI* (Keetch-Byram Drought Index) が使用されてきたが、東南アジアの赤道気候で使用するため干ばつ係数を修正したことで *KBDI_{adj}* という指標に修正された¹⁾。これらの火災インデックスは降雨係数、干ばつ係数で構成される。さらに *Taufik* ら²⁾は従来の係数に加え、地下水面係数を取り入れた。*Taufik* ら³⁾は火災インデックスのスケールを修正した指標である *PFVI* (Peatland Fire Verification Index) を提案した。地下水面係数の算出に際しては、採取した土壌から実験室で求めた土壌水分特性曲線情報を取り入れた。

火災インデックスを基に地下水位のしきい値を検討する際、地域ごとの地下水位の特性を予め把握しておくことが必要である。大規模火災の多発地域の 1 つであるインドネシア・リアウ州はピートドームが数箇所存在し、傾斜面も比較的多い。しかし、そのような地域ごとの地下水位変動特性は十分に理解されていない。泥炭地の地下水位を特徴づけるものとしては、地形や土地利用、降雨など気象条件のほか⁴⁾、海岸・水路からの距離なども考えられている⁵⁾。地形の観点からは、スマトラ島中部の森林斜面では、佐山ら⁶⁾が独自に行った水文観測により降雨流出過程への理解が深まりつつある。

近年では、インドネシア熱帯泥炭地における地形情報、水文・気象情報の基礎データが収集されつつある。LiDAR を用いた高解像度の標高モデルがスマトラ島東部とカリマンタン島の一部で計測され公開されている⁷⁾。インドネシア泥炭復興庁 (The Republic of Indonesia Peat Restoration Agency: BRG) は 40 個近くの観測所を泥炭地に設置しており (2023 年 1 月現在)、リアルタイムのデータを閲覧可能である。さらに、X バンド気象レーダーによるリアウ州ブンカリス県における降雨の地域的特徴も明らかになってきている⁸⁾。

本研究では、リアウ州ブンカリス県とその周辺地域を対象に地形（傾斜角）ごとの地下水位と降雨の応答関係について検討する。具体的には実効降雨と地下水位のそれぞれの前日差から、両者の相関関係を調査する。さらに、火災インデックスとして *KBDI_{adj}* を当該地域に適用し、火災インデックスと地下水位の関連性についても定性的に議論する。

2. データ

500m グリッドの標高モデル⁷⁾を用いて (図 1) 傾斜角を算出する。地下水位および降雨データはリアウ州ブンカリス県にて BRG が管理している 16 地点の観測所データ (以下、BRG データ) の一部を用いる (図 1)。時間解像度は 10 分ごとである。KBDI_{adj} の初期値においては BRG データで計測された土壌水分量を基に算出したものを用いる。

実効降雨と地下水位の、前日差の相関関係を調査するにあたり、土砂災害で用いられている手法を参考とする⁹⁾。目的変数を地下水位日最大値の前日差、説明変数を実効降雨の前日差とする。単回帰分析の決定係数が最大のときの実効降雨のしきい値 (最大を 30mm とした) および半減期を各観測所ごとに調査する。得られた相関関係 (単回帰式) を決定とする。地下水位の日最大値を採用したのは、平均値・最小値と比べて決定係数がより高くなったためである。とくに海岸付近では潮汐による地下水位の変動が顕著に出ているため、以上のような検討を行った。

地下水位と降雨の応答関係の解析においては、リアウ州にて標高モデルの対象地域である 10 個の観測所のデータを用いる。期間 (最大) は 2017 年 1 月～2021 年 11 月である⁵⁾。KBDI_{adj} の計算においては、次の 5 つの観測所 (期間) のデータを用いる。brg8 (2018 年 4 月～2019 年 3 月)、tinggi1 (2017 年 7 月～2019 年 3 月)、BRG_140312_01・BRG_147205_01 (2018 年 10 月～2021 年 3 月)、BRG_141003_01 (2019 年 7 月～2021 年 11 月) である。

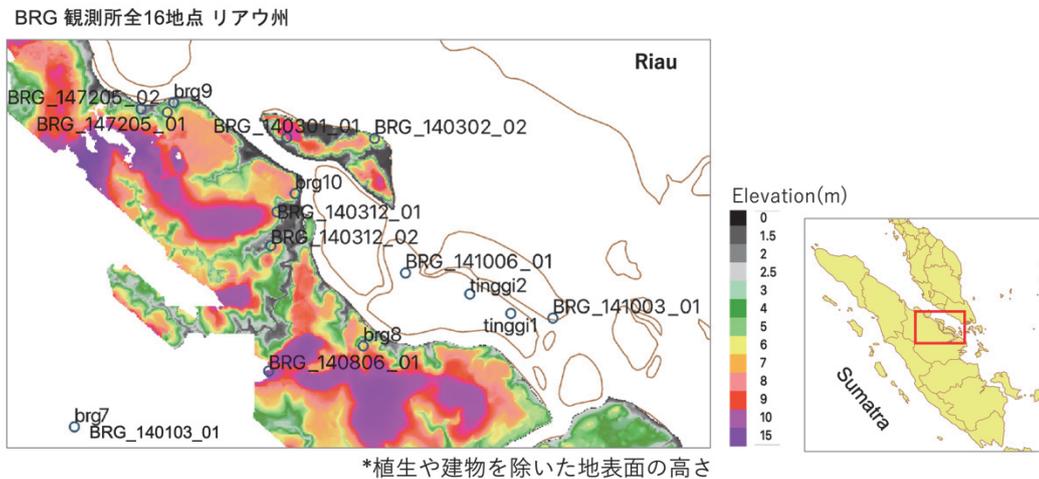


図 1 リアウ州における標高データ⁶⁾。プロット点は BRG 観測所。

brg7 と BRG_140103_01 は 600m ほど離れている。

スマトラ島東部の沿岸部およびピートドームの標高は 2m 以下から 15m 程度の高低差がある。

3. 結果と考察

(1) 傾斜ごとの地下水位と降雨の応答関係

各観測所において地下水位と実効降雨の最適な単回帰式を検討した結果 (図省略)、傾斜地 (傾斜角が 0.1 度以上) では回帰係数 (単回帰式の傾き) が 0.25～0.5 と高くなった。つまり降雨に対する地下水位の応答が高い。一方、平地 (傾斜角が 0.1 未満) では回帰係数が 0.15～0.3 と小さくなった。降雨に対する地下水位の応答が小さい。降雨以外の要素 (蒸発散、海岸付近では海水の流入) や微低地などで周囲からの地下水位の流入が影響した可能性が考えられる。

また実効降雨が 20mm 以上かつ 30mm 以下のとき、実効降雨と地下水位の決定係数が 0.4 以上かつ約 0.8 以下と高くなった。実効降雨が 20mm 未満のときは、決定係数は約 0.1 以上かつ約 0.7 以下となった。比較的時間とまとまった雨に対して地下水位と実効降雨の相関関係が高いことがわかる。

(2) 火災インデックスと地下水位の関係

計算された KBDI_{adj} と BRG データから直接得られた地下水位の関係を図 2 に表示する。参考のため Taufik ら³⁾の結果例 (PFVI の結果) を図 2 右上に加えた。PFVI のスケールと合わせるため、本研究は KBDI_{adj} のスケールの上限値が 300 になるように修正した。ただし PFVI および KBDI_{adj} は入力値が異なることに注意する。各図の 2 種類の点線 (赤、青色) は地下水位の低い方からそれぞれ KBDI_{adj} が 225、150 となるときの地下水位を示す。それぞれ、火災のインデックスが「最も危険」、「危険」に該当するスケールの下限値となっている。

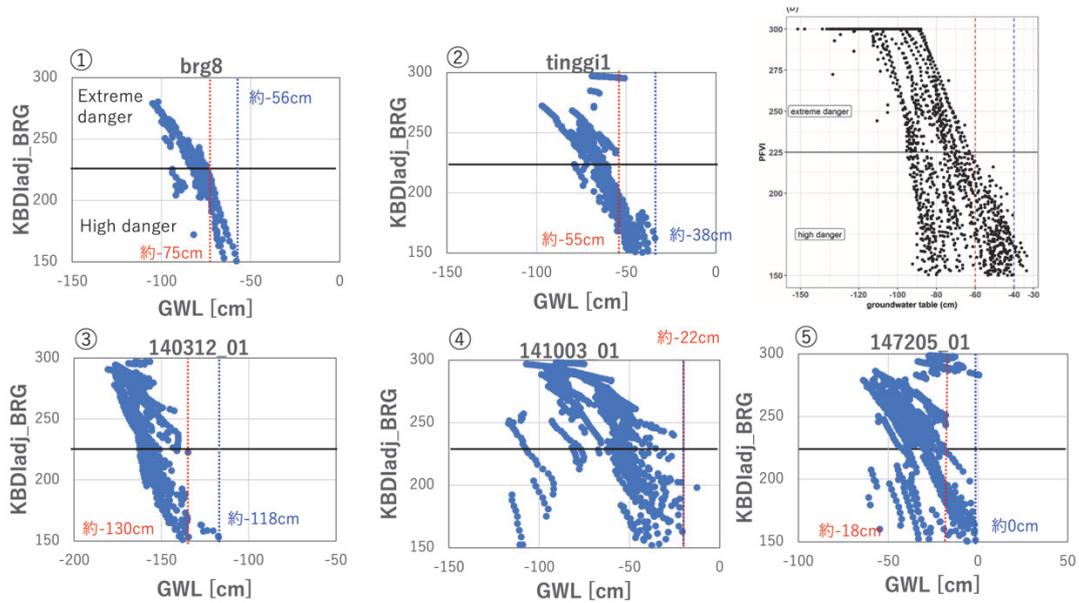


図 2 ①～⑤：BRG データから得られた地下水位日最大値 (X 軸) と計算された $KBDI_{adj}$ (Y 軸) の関係。右上は Taufik ら³⁾の結果例で地下水位 (X 軸) と $PFVI$ (Y 軸) の関係。土地利用^{5,10)}は①森林、②サゴヤシ、③オイルパーム・シダ類・苔、④ココナッツ、⑤ゴム・オイルパームである。

brg8 が最も Taufik ら³⁾の結果と近い。BRG の観測所ごとに地下水位のしきい値にばらつきがあることがわかる。各観測所の設置場所を以下に整理する。

BRG_147205_01 は傾斜が 0.1 未満で平坦かつ海岸付近に位置するため、普段の地下水位が高いと思われる。なお、BRG_147205_01 について地下水位が 0cm 以上となっている箇所がある。観測所が微低地に設置されている可能性が考えられる (写真 1)。



写真 1 BRG_147205_01 の観測所 (2022 年 5 月 18 日、リアウ州ドゥマイ市)

さらに BRG_141003_01 と BRG_147205_01 について、火災インデックスに対する地下水位のばらつきが比較的大きい。その理由について、降雨に対する地下水位の相関関係が影響しているためと考えられる。 $KBDI_{adj}$ は降雨情報を主な入力値としており、地下水位の情報は用いていないことに注意する。両者の観測所については、実効降雨と地下水位の、前日差の決定関係はそれぞれ 0.66 と 0.4 である。一方、brg8、tinggi1、BRG_140312_01 は決定係数はそれぞれ、0.71、0.83、0.73 と比較的高くなっている。

4. まとめ

本研究では、リアウ州ブンカリス県とその周辺地域を対象に地形ごとの地下水位と降雨の応答関係について検討した。傾斜面では降雨に対する地下水位の応答が高く、平地では地下水位の変動について、降雨以外の要素の影響、もしくは、微低地などで周囲からの地下水位の流入が影響した可能性があげられる。また、火災インデックスとして $KBDI_{adj}$ を計算し地下水位と対応させた。各観測所において、地下水位のしきい値

にばらつきがあり、観測所の立地場所から考察した。さらに、火災インデックスに対する地下水位のばらつきがみられ、地下水位と降雨の相関関係を基に解釈した。今後、気象レーダーを活用した面的な火災リスクを検討する際にも、今回得られた知見は有用な情報となりうる。

参考文献

- 1) Chappell N.A., A. R. Discenza, and W. Tych, J. Whittaker, K. Bidin (2009). Simulating hourly rainfall occurrence within an equatorial rainforest, Borneo Island. *Hydrological Sciences Journal*, 54(3), 571-581.
- 2) Taufik M., B. I. Setiawan, and H. A. J. Lanen (2015). Modification of a fire drought index for tropical wetland ecosystems by including water table depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 203, 1-10.
- 3) Taufik M., M. T. Widyastuti, A. Sulaiman et al. (2022). An improved drought-fire assessment for managing fire risks in tropical peatlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 1-13.
- 4) Takahashi H. (2000). The effects of environmental factors on diurnal changes of ground water table in a tropical peat swamp forest. *In the Proceedings of the International Symposium on tropical peatlands*, 22-23 November 1999, Bogor Indonesia. 321-327.
- 5) JICA (2020). 全世界泥炭地保全協力に係る情報収集・確認調査 国内再委託業務「高精度土壌水分マップをもとにした地下水位推定モデルなどの開発業務」(2021-2022年, 代表: 京都大学・甲山治) 報告書(公開準備中)。
- 6) Sayama T., R. Araki, K. Yamamoto and, Apip (2021). Characteristics of soil and hillslope responses in humid tropical forests in Sumatra, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 15(2), 23-30.
- 7) Vernimmen R., A. Hooijer, A. T. Yuherdha et al. (2019). Creating a Lowland and Peatland Landscape Digital Terrain Model (DTM) from Interpolated Partial Coverage LiDAR Data for Central Kalimantan and East Sumatra, Indonesia. *Remote Sensing*, 11(10), 1110-1152.
- 8) Ogawa, M., M. D. Yamanaka, A. Awaluddin et al. (2021). X-band weather radar observations in the east coast of Sumatra: Statistical analysis of diurnal cycle of rainfall. *In Proceedings of the 15th Symposium on MU Radar and Equatorial Atmosphere Radar*, 10 September 2021, Online, 92-97.
- 9) 増山孝行(2009). 実効降雨に基づいた地すべり内の地下水位解析. 日本地すべり学会誌, 45(5), 383-391.
- 10) Prayoto, Ishihara, M., Firdaus, R. and Nakagoshi, N. (2017). Peatland Fires in Riau, Indonesia, in Relation to Land Cover Type, Land Management, Landholder, and Spatial Management. *Journal of Environmental Protection*, 8, 1312-1332.

日本における精神作用物質の下水疫学手法の開発
Development of wastewater-based epidemiology for psychoactive substances in Japan

山田 千佳¹, 竹内 悠², 坂本 龍太¹, Youdiil Ophinni³, 松本 俊彦⁴

Chika Yamada¹, Haruka Takeuchi², Ryota Sakamoto¹,
Youdiil Ophinni³, Toshihiko Matsumoto⁴

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 京都大学大学院 工学研究科附属 流域圏総合環境質研究センター

Research Center for Environmental Quality Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University

3 大阪大学 免疫学フロンティア研究センター

Immunology Frontier Research Center, Osaka University

4 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

Drug use data in many Asian countries are taken from government-based self-report surveys or police arrest statistics, which lack credibility to base drug policies. We aim to develop an objective method to measure drug use by quantifying amounts of excreted metabolites from wastewater. Here, we validate the methods by measuring concentrations of thirteen psychoactive compounds sourced from manholes using ultra-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) in Japan. We detected seven out of all compounds, including methamphetamine, thus providing the opportunity for chronological and geographical monitoring of illicit drugs and other psychoactive substances. We will continue to develop technical guidelines and project future studies in Indonesia.

Key Words : *wastewater-based epidemiology, psychoactive substances, LC-MS/MS, Japan*

1. Introduction

In recent years, many state governments in Asia have been politicizing drug issues, which has led to human rights violations (1-2). Further, drug policies in Asia have been diversified, especially regarding marijuana use, from the implementation of legalization in Thailand to the plan of criminalization in Japan (3). Upon making drug policies in those countries, data on drug use are oftentimes taken from self-report surveys or police arrests statistics. However, such data are highly prone to biases, and are not credible enough to investigate legitimacy of the policies (4).

Therefore, this research aims to develop a method to objectively measure chronological and geographical trends of drug use within the catchment area of wastewater treatment plants by quantifying amounts of metabolites in wastewater (5-7) in Japan. This will be the first wastewater-based epidemiological study for compounds including illicit drugs in Japan and will serve as the first trial of our long-term research, in which we plan to apply the methodology to Indonesia.

2. Methods

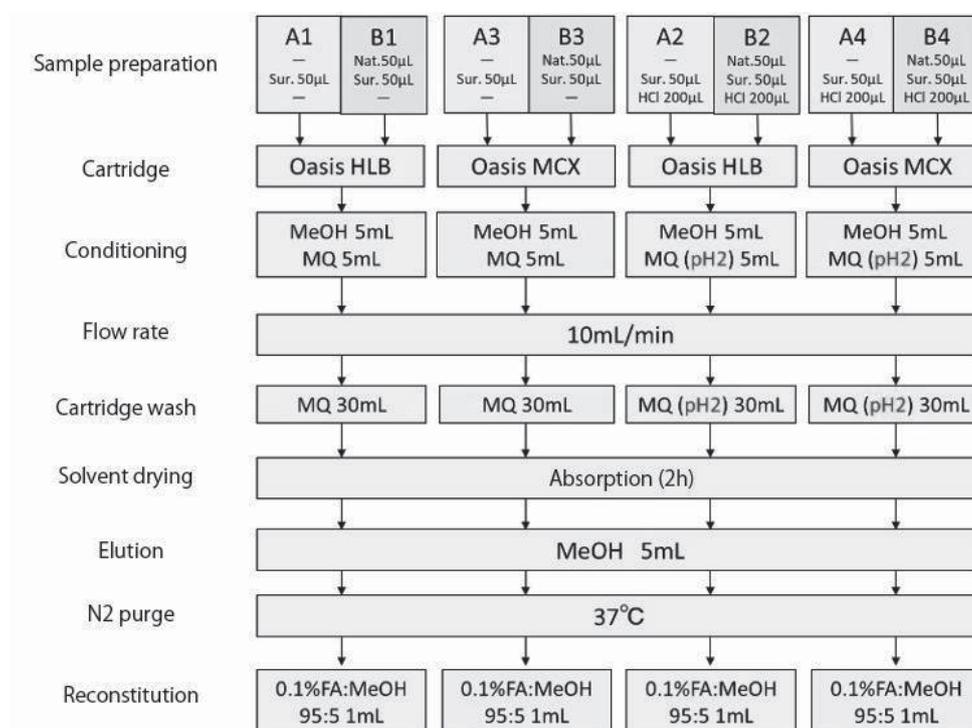
Here, we developed and optimized a procedure for determining drugs and their main metabolites in wastewater samples by using solid phase extraction (SPE) and ultra performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). Drugs and metabolites to be measured are methamphetamine, tetrahydrocannabinol (THC-COOH), etizolam, flunitrazepam, zolpidem, diazepam, methylephedrine, bromovalerylurea, tramadol, caffeine, paraxanthine, cotinine, ethyl sulfate.

The analytical conditions for UPLC and MS/MS are described in **Table 1**. Similar analysis conditions were set so that pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), which have been done previously, can also be analyzed at the same time.

Table 1. Analytical conditions for UPLC-MS/MS.

Category	Conditions																		
UPLC	Acquity UPLC (Waters)																		
Column	Waters ACQUITY UPLC BEH C18 2.1 × 100 mm, 1.7 μm																		
Column temperature	40 °C																		
Mobile phase	A: 0.1% Formic Acid; B: 100% MeOH																		
Flow rate	0.30 mL/min																		
Injection volume	10 μL																		
Gradient conditions	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Time (min)</th> <th>A (%)</th> <th>B (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>5</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>5</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>15.1</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Time (min)	A (%)	B (%)	0	95	5	3	95	5	10	5	95	15	5	95	15.1	95	5
Time (min)	A (%)	B (%)																	
0	95	5																	
3	95	5																	
10	5	95																	
15	5	95																	
15.1	95	5																	
MS/MS	ACQUITY TQD tandem mass spectrometer																		
Ionization	Electrospray Ionization (ESI) Positive / Negative																		
Capillary voltage	1 kV																		
Source temperature	120 °C																		
Desolvation temperature	400 °C																		
Desolvation gas flow	800 L/hr																		
Cone gas flow	50 L/hr																		
Multiple ion monitoring (MRM)	See Table 2																		

To investigate the optimal pretreatment method for analysis, we conducted addition and recovery experiments using multiple variations of the following variables: sample preparation, cartridges, sample conditionings, cartridge washing, and reconstitution. The methods are listed in **Figure 1**.

**Figure 1.** Schematic procedure for the determination of drugs in wastewater samples using an SPE-UPLC-MS/MS-based system.

From the above preliminary test, we decided on the optimal pre-treatment method for drug samples to be as described in **Figure 2**.

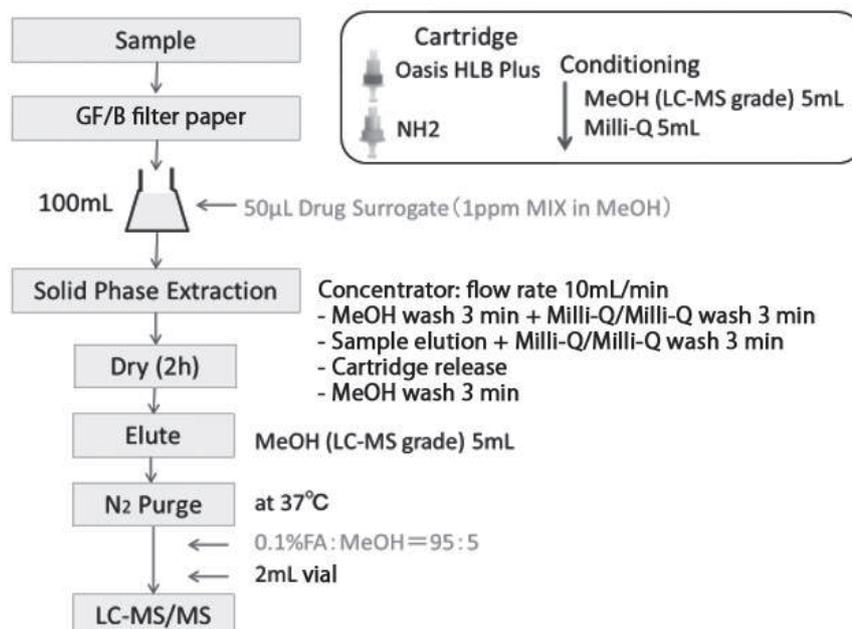


Figure 2. Optimized procedure for sample preparation.

Samples were collected from spot water sampling sourced from manholes located in a city. Manhole conditions can be seen in **Figure 3**. Samples were collected on two days; in eight separate locations on 21 November 2022 and nine locations on 9 December 2022. Water sampling time is sunny or cloudy (rain from 0:00 am to 3:00 am on the day, based on Japan Meteorological Agency data).

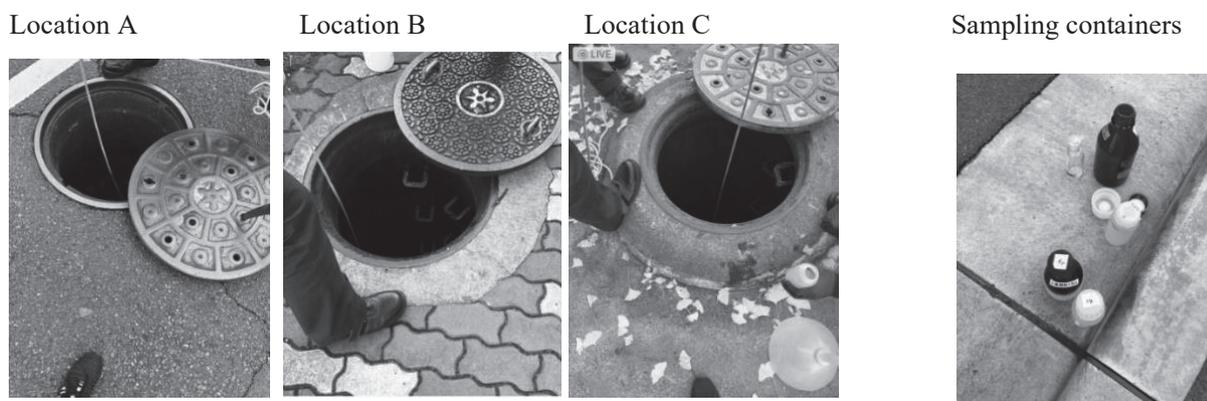


Figure 3. Condition of manholes where water sampling was conducted (left three photos) and water sampling container used (rightmost photo).

3. Results

Quantitative mass spectrometry analysis was performed in multiple reaction monitoring (MRM) mode by analysing the fragmentation products of each drug and its analogue, if available, with good linearity at 0.5-100µg/L. The conditions for MRM are listed in **Table 2**.

Using various cartridges as outlined in Figure 1, the recovery rate results for each compound were determined as listed in Figure. From the results, it was decided that Oasis HLC and Oasis HLB Plus + NH2 cartridges were optimal for sample recovery, except for TCH-COOH, THC-COOH-d3, ethyl sulfate, and ethyl sulfate-D5, which showed poor recovery.

Using the optimized analysis methods, we finally determined the concentration for each compound as shown in **Figure 5**. Paraxanthine and caffeine were detected in large amounts, most over 20,000 ng/mL from all collection points. Cotinine was detected in moderate amounts, most over 500 ng/mL from all collection points. Tramadol and methylephedrine were detected in small amounts, most over 100 ng/mL from all collection points. Methamphetamine and zolpidem were detected in trace amounts. Meanwhile, etizolam, flunitrazepam, diazepam, bromovalerylurea, THC-COOH and ethyl sulfate were not detected from all collection points.

4. Discussion

Being a compound found in commercial drinks, it is expected to find paraxanthine and caffeine as the compounds with the highest concentrations among the thirteen compounds tested. Cotinine, an alkaloid found in tobacco, was also detected in substantial concentration. Additionally, methylephedrine, tramadol, and zolpidem were detected, all of which are sold as over-the-counter or prescribed medicines. Notably, the only illicit drug detected in the current measurement was methamphetamine, although it was present in trace amounts. The detection of this substance may provide the opportunity for monitoring over time and comparison between different sampling locations and areas.

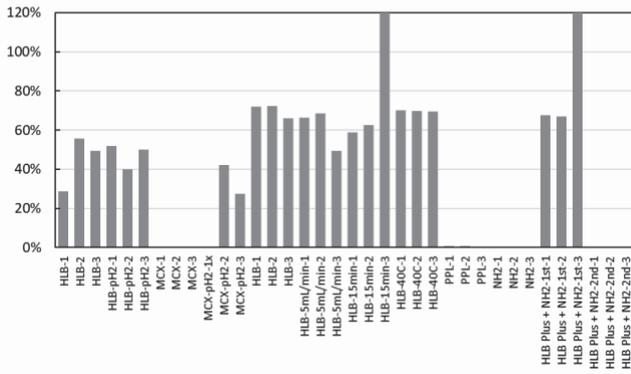
Several methodological improvements are necessary for future application. For example, alternative surrogates for each drug to be measured will be needed. Oasis HLB and MCX have similar recovery rates, and thus, Oasis HLB can be analyzed simultaneously with other compounds of interest, such as PPCPs. However, ethyl sulfate and THC-COOH are difficult to collect with Oasis HLB, and thus other cartridges will be necessary to analyze those compounds.

Table 2. Conditions for multiple reaction monitoring of mass spectrometry.

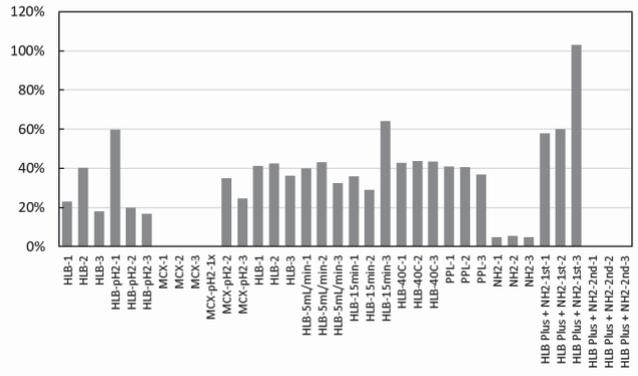
Compound	Ionization	Parent(m/z)	Daughter(m/z)	cone(V)	Collision(V)	RT (min)
Methamphetamine	+	150.40	91.05	20	30	
		150.40	119.15	20	30	
11-Nor-9-carboxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol (THC-COOH)	+	345.40	299.28	20	20	11.95
			327.27	20	20	
			193.15	20	20	
THC-COOH-d3	+	348.40	302.31	20	20	11.96
			330.28	20	20	
			196.11	20	20	
Etizolam	+	343.20	314.19	20	20	10.14
			206.17	20	20	
Etizolam-d3	+	346.20	317.09	20	20	10.15
			209.27	20	20	
Flunitrazepam	+	314.10	268.21	20	20	9.77
			240.21	20	20	
Zolpidem	+	308.30	235.20	20	30	8.05
			263.21	20	30	
Zolpidem-d6	+	314.30	235.24	20	30	8.02
			263.22	20	30	
Diazepam	+	285.20	154.09	20	30	10.55
			193.00	20	30	
dl-Methylephedrine	+	180.30	117.09	20	20	6.14
			147.13	20	20	
			162.15	20	20	
Bromovalerylurea (Negative mode)	—	221.00	78.86	20	20	8.75
Tramadol (Tramadol Hydrochloride)	+	264.20	58.09	20	20	7.77
cis-Tramadol-D3	+	267.20	58.10	20	20	7.76
Caffeine	+	195.20	138.13	20	20	7.13
			110.06	20	20	
Caffeine-d9	+	204.40	144.15	20	20	7.09
			116.08	20	20	
Paraxanthine	+	181.10	124.05	20	20	6.34
Paraxanthine-d3	+	184.20	127.08	20	20	6.32
Cotinine	+	177.20	80.06	20	20	1.46
			98.05	20	20	
(±)-Cotinine-d3	+	180.10	80.06	20	20	1.45
			101.06	20	20	
Ethyl sulfate (Negative mode)	—	125.00	97.97		-20	1.20
	—		80.01		-20	

*Numbers in bold are target ions and non-bold are confirmation ions.

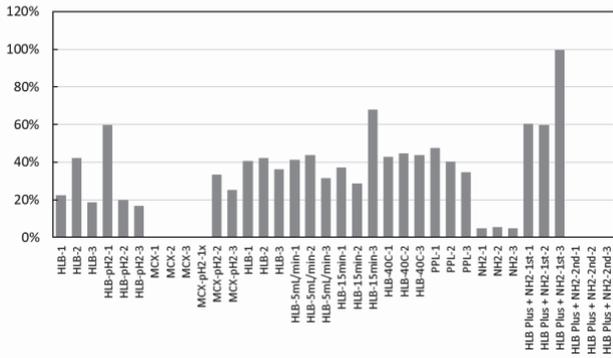
Methamphetamine



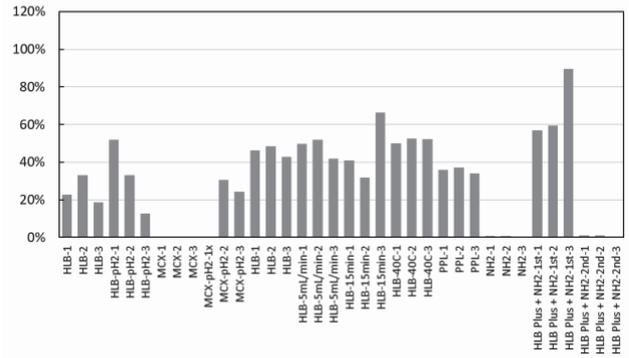
Etizolam



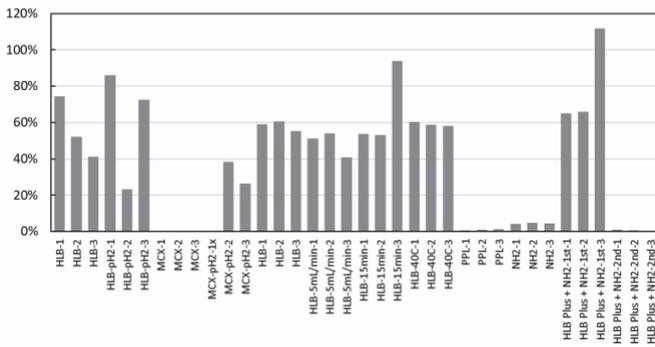
Etizolam_d3



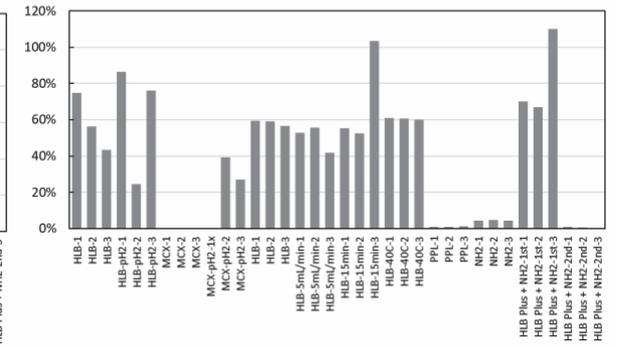
Fulnitrazepam



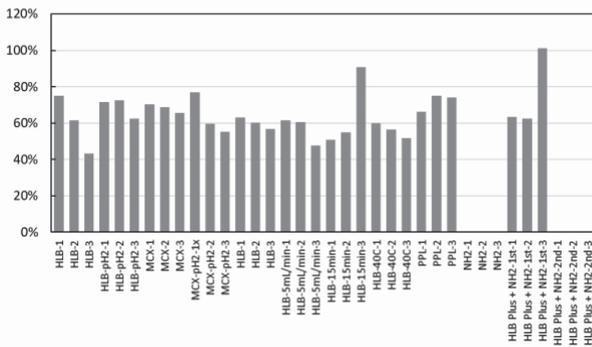
Zolpidem



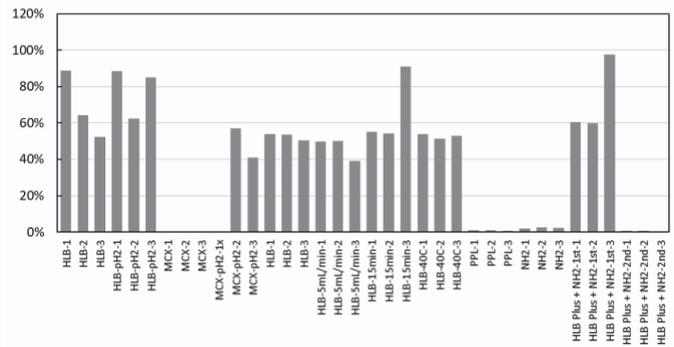
Zolpidem_d6

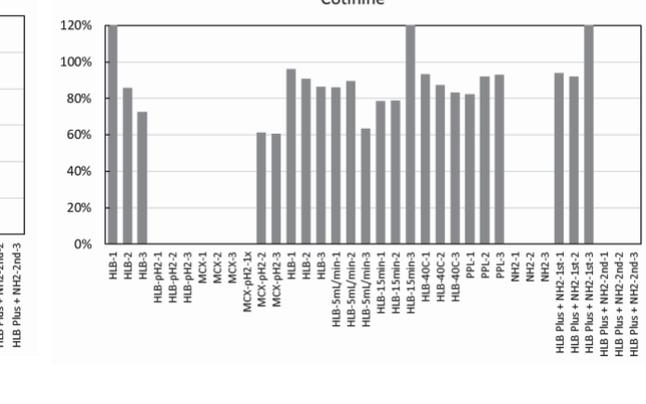
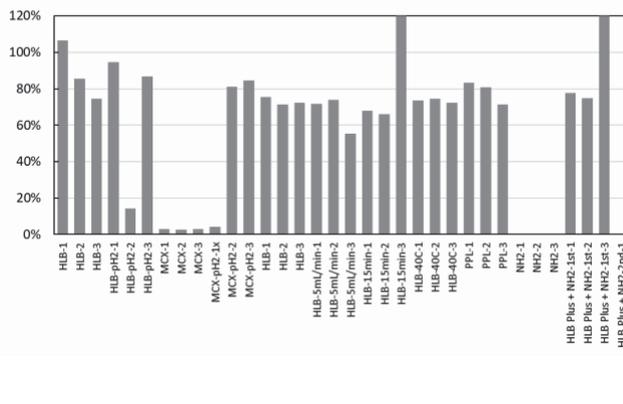
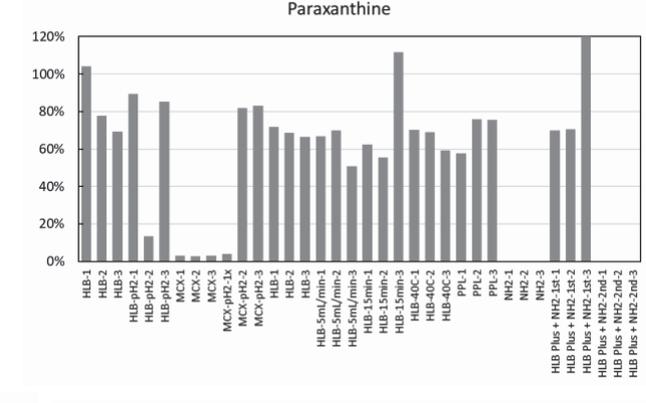
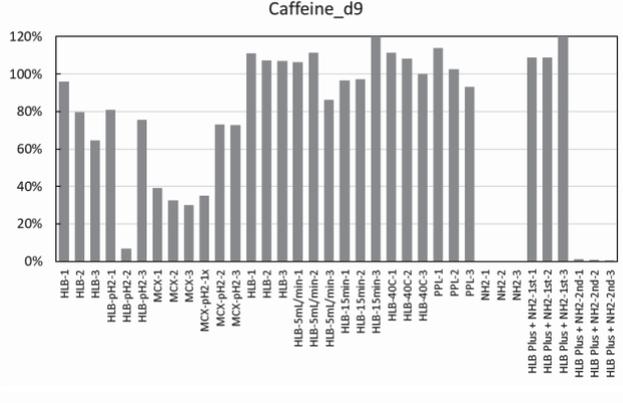
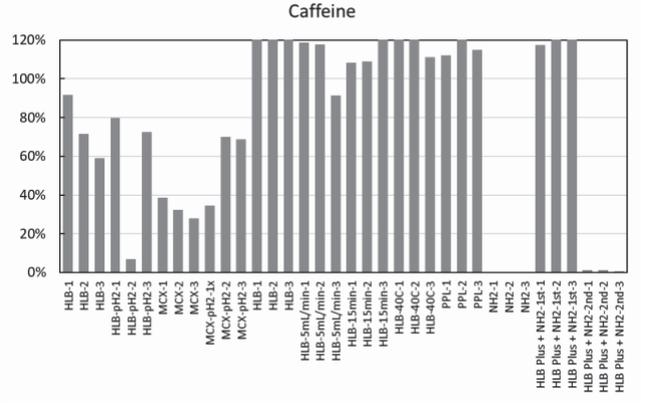
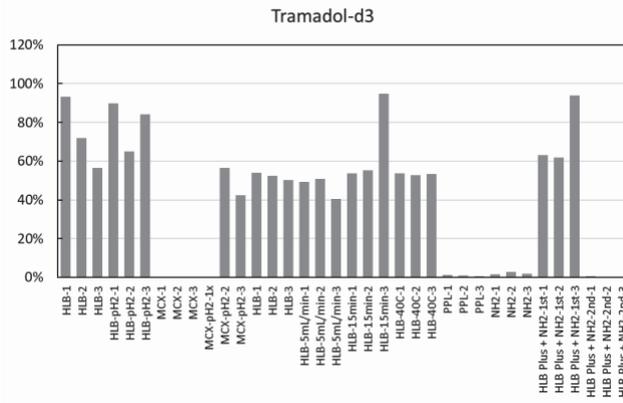
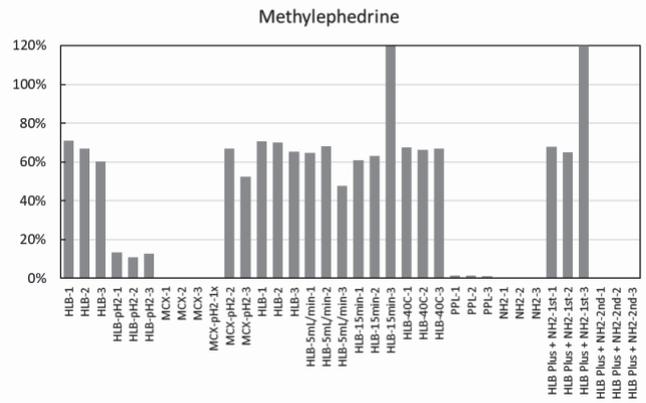
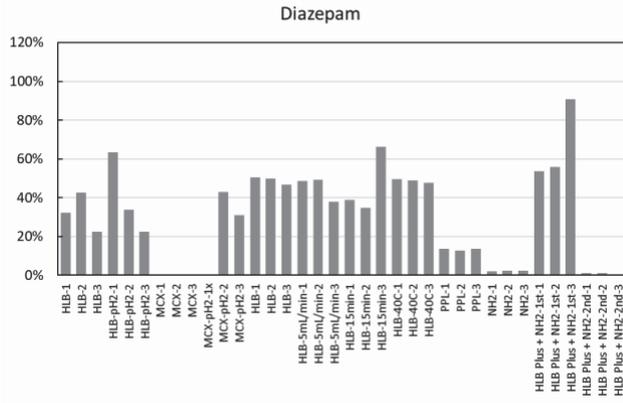


Bromovalerylurea



Tramadol





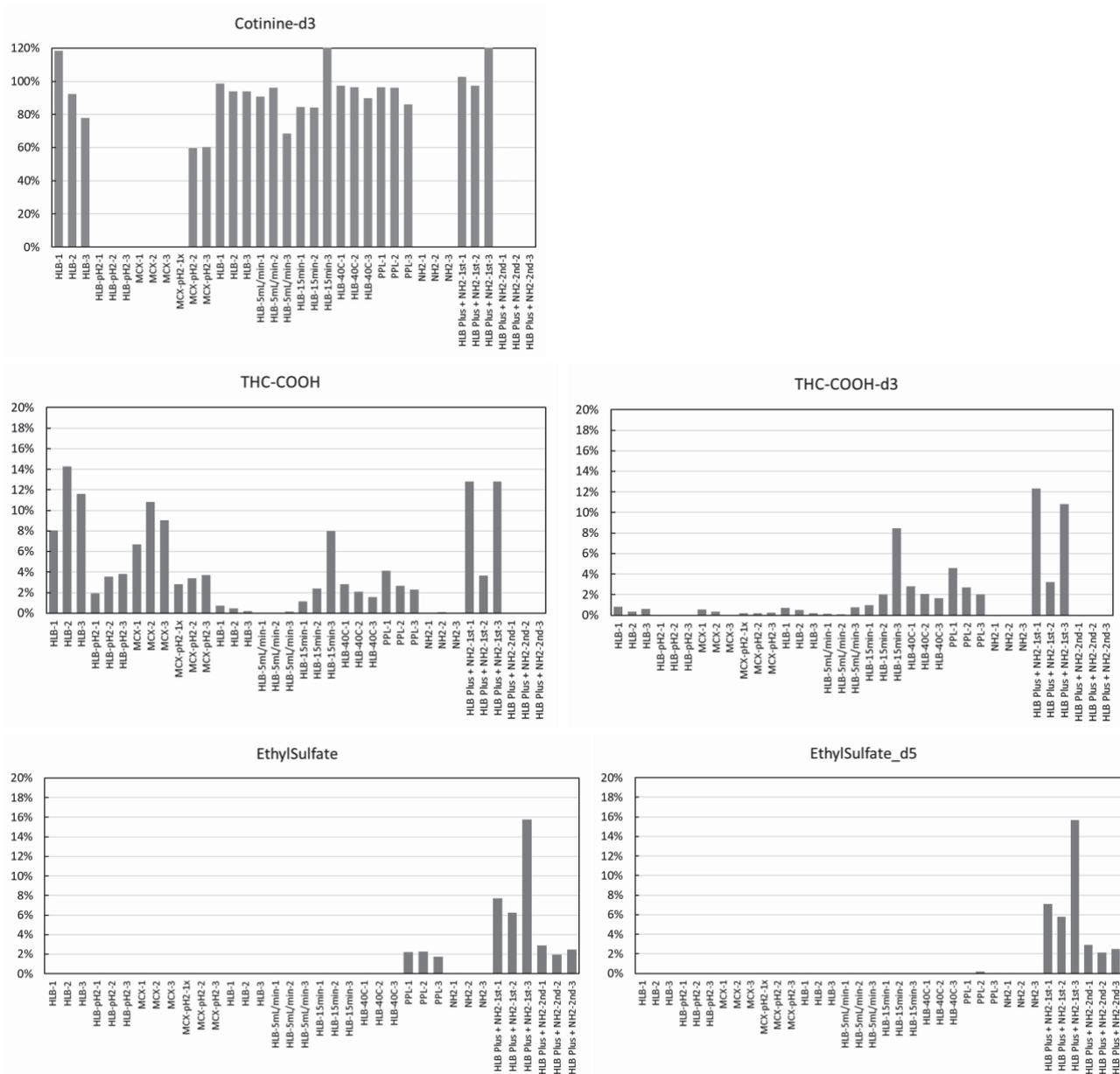


Figure 4. Recovery rate for the thirteen compounds analyzed and its analogues.

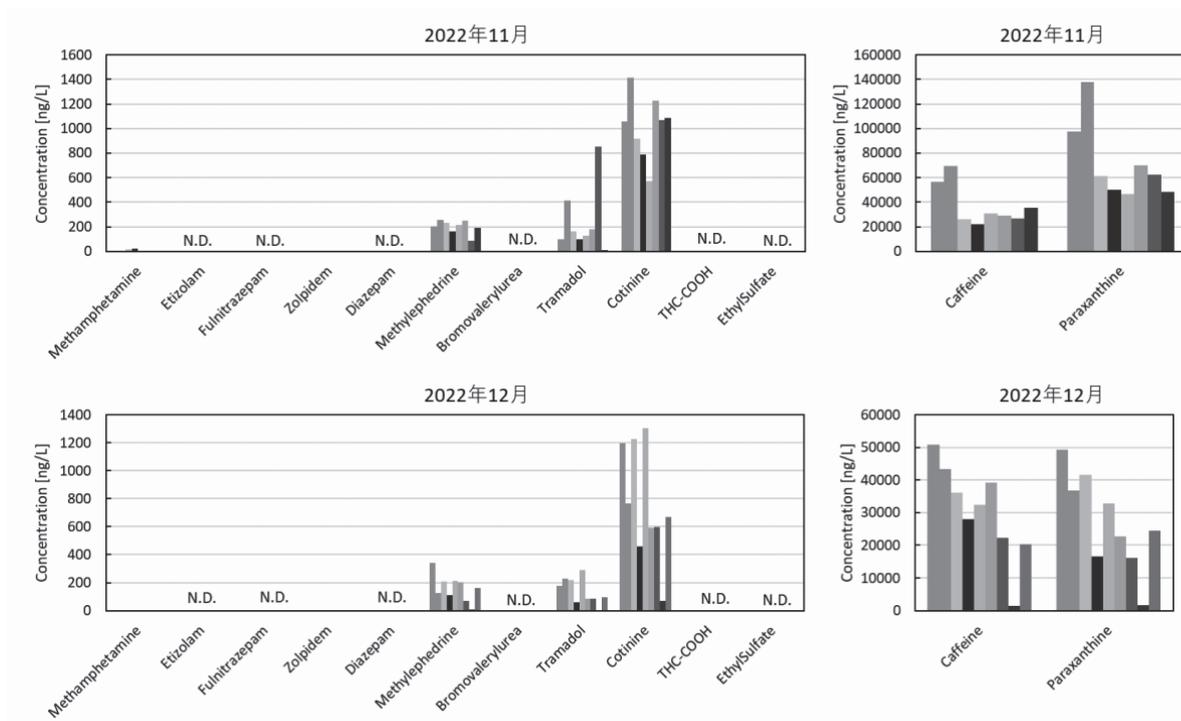


Figure 5. Final results of compound concentration from all sampling points at both collection days. Bar graphs of the same color gradation in the same sampling month represent the same sampling location.

5. Conclusion

We have developed and optimized a procedure for determining drugs and their main metabolites in wastewater samples using SPE and UPLC-MS/MS. Using samples from wastewater in Japan, we have validated the methods and detected seven out of thirteen compounds analyzed. We will continue to develop a technical guideline for the measurement procedures, and hope to implement it in Indonesia, where drug issues are highly politicized and the data on drug use are only sourced from the government.

References

- (1) Harm Reduction International. *The death penalty for drug offences: Global Overview 2021*. (2021).
- (2) Yamada, C., Tsutsumi, A., Izutsu, T. & Matsuo, H. Exposure to Drug-Related Killings and Its Psychological Consequences in the Philippines. *Traumatology*. Advance online publication. (2022).
- (3) Lai, G. Thailand breaks away from Southeast Asia's brutally punitive drug policies. *9DASHLINE*. (2022)
- (4) Thomas, K. V. *et al.* Comparing illicit drug use in 19 European cities through sewage analysis. *Sci. Total Environ.* **432**, 432–439 (2012).
- (5) van Wel, J.H.P., *et al.* A comparison between wastewater-based drug data and an illicit drug use survey in a selected community. *Int. J. Drug Policy* **34**, 20–26, (2016)
- (6) Sulej-Suchomska, A. M. *et al.* Urban wastewater analysis as an effective tool for monitoring illegal drugs, including new psychoactive substances, in the Eastern European region. *Sci. Rep.* **10**, 81–87 (2020).
- (7) Hue, T. T. T. *et al.* Prevalence of illicit drug consumption in a population of Hanoi: an estimation using wastewater-based epidemiology. *Sci. Total Environ.* **815**, 152724 (2022)

日本の金融機関の脱炭素化対応の持続性

Sustainability of the responses of Japanese financial institutions for decarbonization

森 晶寿¹, 清水 延彦²

Akihisa MORI 1, Nobuhiko SHIMIZU 2

¹京都大学 地球環境学堂

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

²京都大学 経済研究所

Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University

An increasing number of financial institutions perceive the global pressures for decarbonization as an economic opportunity to provide green finance and support sustainable business model innovations of their customers. This research aims to investigate how financial institutions have changed their business model to reduce climate-related financial risks and phase out coal, taking Japanese financial institutions as a case. Through literature review and semi-structured interviews, we find that some local banks have developed organizations to estimate the carbon emissions of their customers and engage in their business model transformation. However, a lack of value propositions among the customers blocks them from capturing carbon emissions reduction value through consulting and green finance.

Key Words: decarbonization, sustainable business model innovation, financial institutions, Japan.

1. はじめに

金融機関に対する化石燃料事業への投融資からの撤退を促す国際的圧力はますます高まっている。2021年のG20サミットや第26回国連気候変動枠組条約締結国会議（COP26）では、中国を含めた公的金融機関による国外の新規石炭火力発電事業への資金供給の中止が合意された。また日本国内でも、株主総会で3メガバンクが石炭事業への投融資の撤退を求める提案への賛同が増えている。さらに2022年には温室効果ガス排出量の実質ゼロを目指す金融機関の融資連合「グラスゴー金融同盟」（GFANZ）は、アジア太平洋地域に特化した推進組織を設立した。

こうした圧力が高まるにつれて、脱炭素化対応に着手する日本企業も増えつつある。脱炭素化対応をしなければ、資金調達や自社商品の販売が困難となり、企業の存続も雇用の維持も困難になるためである。特に電力・エネルギー、鉄鋼、化学等の化石燃料集約型産業や、化石燃料を大量消費する自動車産業、そして脱炭素化宣言をしているアップル社等のサプライヤー企業は、企業存続のために対応が不可避となっている。

こうした企業の脱炭素化対応は、金融機関にとって新たなビジネス機会をもたらすことが考えられる。第1に、企業の再エネ投資の増加は、新たな資金供給機会となる。第2に、企業の脱炭素化対応のための事業多角化や業態転換は、投資資金需要を生むため、新たな資金供給機会となる。こうした資金需要を喚起するために、企業が現在求められているサプライチェーン全体での二酸化炭素排出量（スコープ3）の測定や削減計画の策定等のコンサルタント業務を手掛ける金融機関も増えつつある。

本研究は、金融機関の脱炭素化対応の経済性と二酸化炭素削減をどのように両立させようとしているかの現状を把握し、そのうえでその取り組みがどの程度功を奏しているのかを解明することを目的とする。

2. 研究方法

第1に、昨年度予備調査を行った、Sustainability transitionsにおけるファイナンスの役割に関する文献レビューと世界の主要銀行の脱炭素化対応に関する予備検討に基づいて、金融機関の脱炭素化対応とその効果に関する仮説を設定する。

第2に、日本の金融機関を対象とした質問紙（ウェブ）調査を行い、具体的な対応策、進展状況、経営・脱炭素効果を解明する。

第3に、補完的に半構造化聞き取り調査を行い、進捗や成果（が芳しくない場合にはそれ）をもたらした要因や文脈を解明する。

3. 得られた知見

文献調査からは、銀行のビジネスモデルの持続性移行に関して、3つの知見が得られた。①預貸金利鞘を利益源泉とする預貸金拡大という伝統的ビジネスモデルの収益稼得能力が低下しており、デジタル化、事業承継、SDGが新たな収益源として期待されている。②新たな収益源を獲得するには、顧客志向のコンサルタント業務を中心とするビジネスモデルへの転換が不可欠である。③特に低炭素化を収益源として獲得するには、SBT1.5（科学的知見に基づいた1.5℃目標）の達成に向けたビジネスモデルの転換が必要であり、具体的には、投融资先の排出量の把握、炭素排出削減シナリオの作成、削減シナリオに沿った対策実施支援業務の強化が求められる。

環境省の補助事業に参加した地方銀行を対象とした聞き取り調査からは、3つの知見が得られた。①地方銀行の本店にSDGや脱炭素対応を行う担当部署を設置し、スタートアップ企業と連携して投融资先企業の炭素排出量の把握を始め、SDGや脱炭素を目的とした融資額目標を設定する等、新たな収益源獲得に向けた取り組みを始めている。②主な投融资先である地方の中小企業は、商品納入先から脱炭素化や再エネ電源100%使用等を要求されていないため、低炭素融資に対する需要は小さい。③地方銀行は営業区域が限定されているため、SDGや脱炭素融資は新たな顧客開拓の手段として使うことは想定していない。

質問紙調査は現状回収率が低いため、返答期限を延長して回収率向上に努めている。分析に値する数の回答が得られた段階で、定量分析を行う予定である。

参考文献

- 1) 太田康夫『サステイナブル・ファイナンス』日本経済新聞出版、2021年。
- 2) 白井さゆり『SDGsファイナンス』日経プレミアムシリーズ、2022年。
- 3) 高橋克英『地銀消滅』平凡社新書、2021年。
- 4) Ziolo, M., Filipiak, B.Z., Tundys, F.B. 2021. *Sustainability in Bank and Corporate Business Models: The Link between ESG Risk Assessment and Corporate Sustainability*. Palgrave.

持続可能社会創造ユニット 令和4年度 研究成果報告書 (2023年3月発行)

Research Report FY2022 / Research Unit for Realization of Sustainable Society (issued in March 2023)

〒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 <https://rurss.iae.kyoto-u.ac.jp/>

持続可能社会創造ユニット広報委員会 / 中村 正治, 野平 俊之

Public Relations Committee of RURSS / M. Nakamura, T. Nohira