

2023年度共同利用研究報告書

2024年04月12日

所属・職名 愛媛大学大学院理工学研究科・准教授

松浦 一雄

| | | 整理番号 | 2023a018 | |
|----------|---|---------------|----------|-----|
| 1.研究計画題目 | 階層的渦クラスタリングを用いたマイクロプラスチックの効率的回収法に関する研究 | | | |
| 2.新規・継続 | 新規 | | | |
| 3.種別 | 一般研究 | | | |
| 4.種目 | 短期研究員 | | | |
| 5.開催方法 | 対面開催 | | | |
| 6.研究代表者 | 氏名 | 松浦 一雄 | | |
| | 所属 部局名 | 愛媛大学大学院理工学研究科 | 職名 | 准教授 |
| 7.研究実施期間 | 2023年11月21日(火曜日)～2023年11月22日(水曜日) | | | |
| | 2024年02月29日(木曜日)～2024年03月01日(金曜日) | | | |
| 8.キーワード | マイクロプラスチック, 海洋ゴミ, 流体力学, 渦, クラスタリング, 圧縮性Navier-Stokes方程式 | | | |
| 9.参加者人数 | 2人 | | | |

10.本研究で得られた成果の概要

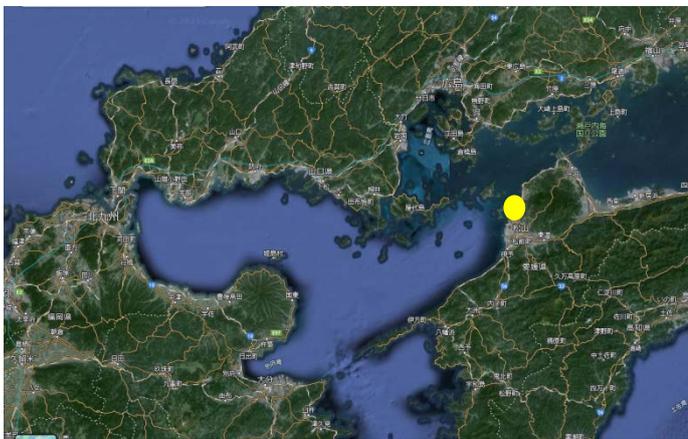
①マイクロプラスチック輸送, ②圧縮性せん断層の安定性や③植生による土砂災害の抑制に関する研究を実施した。特に, ①の研究ではマイクロプラスチック輸送に関する具体的な数理モデルを議論することが出来た。また瀬戸内海沿岸(愛媛県梅津寺海岸)におけるフィールド調査を通して, 綺麗な愛媛県の海岸であろうともマイクロプラスチック問題は例外ではないことが分かった。②の研究では, 圧縮性混合層の直接シミュレーションを実施し, その擾乱発達, 分散関係式の解集合や渦領域の形成について知見を得た。③の研究では根系成長モデルと相互作用する土粒子の運動を離散要素法(DEM)の枠組みで計算し, 地盤補強への影響を評価しうる計算モデルを提案することができた。

本年度は、マイクロプラスチック輸送、圧縮性せん断層の安定性や植生による土砂災害の抑制に関する研究を実施した。それぞれの研究により得られた知見を以下に報告する。

■ マイクロプラスチック輸送に関する研究

世界中で、最低でも年間 800 万トンのごみが海に流出し、そのうち 2~6 万トンが日本で発生していると言われている (J.R. Jambeck, et al., Science, 2015)。海洋ごみは、生態系、漁業、観光や船舶航行など多方面へ悪影響を及ぼす。特に、海洋ごみが紫外線や海流による機械的破壊によって 5mm 以下と微細化したマイクロプラスチック(MPS)は、回収困難であり、生体内に取り込まれやすく、健康被害も未解明であることから、緊急課題と位置付けられている。SDGs でも 12 および 14 番の目標に対応する。著者の生活拠点に近い瀬戸内海は四方を四国・九州・本州の陸地に囲まれているためゴミが溜まりやすい一方で、大小約 700 と多くの島々が点在する世界的にも美しい景観を有し、水産業も盛んな地域である。海域を保護することが必要であるが、MPS の有効な回収法は未だ確立していない。本研究では、この MPS を効率良く回収・除去する新手法の可能性について検討した。

研究に際し、マイクロプラスチック分散流、海洋流れの Large-Eddy Simulation, Lagrangian Coherent Structure (LCS) 解析や階層的渦クラスタリング解析, Langmuir circulation(A. D. Craik & S. Leibovich, JFM, 73(3), pp. 401-426, S. Leibovich, JFM, 79(4), pp. 715-743, S. Leibovich, JFM, 82(3), pp. 561-581)の文献調査を実施した。また、愛媛県松山市梅津寺海岸 (図 1) を対象にマイクロプラスチックの有無に関してフィールドワークを実施した。沿岸部の表面海水を十数リットル複数回採取する程度では、マイクロプラスチックの有無を視覚的に確認するには至らなかったが、海岸ではストロー、釣りウキ、ペットボトルキャップ、プラ製玩具など、砂 1kg に 7~8 個程度のプラスチック片が確認された。



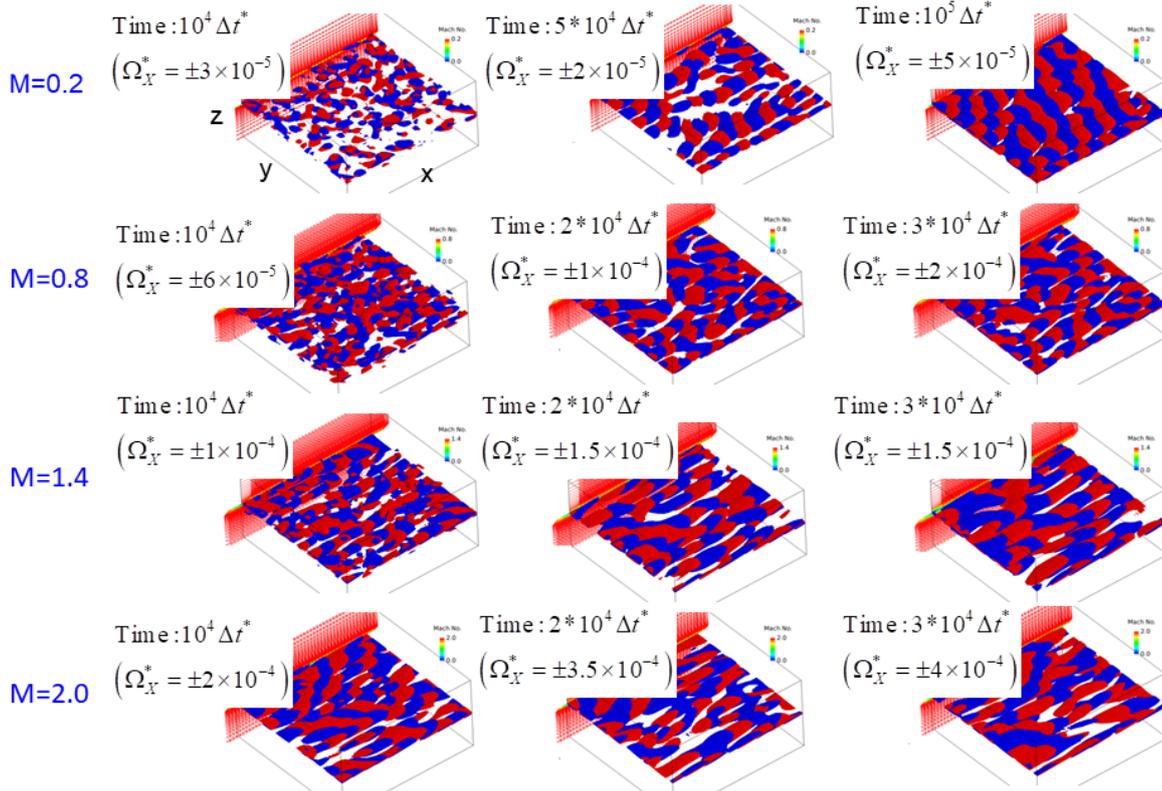
<https://seaside-station.com/station/baishinji/>

図 1. 四国・九州広域地図 (左) とマイクロプラスチックの採取を行った梅津寺海岸 (右)、左図の黄色マーカーは梅津寺海岸の位置

■ 圧縮性せん断層の安定性に関する研究

航空宇宙工学や天体物理学では、流れのせん断層の安定性に対する圧縮性の影響が重要になる。本研究では、圧縮性混合層の直接シミュレーションを実施し、その擾乱発達、分散関係式の解集合や渦領域の形成 (図 2,3) について知見を得た。

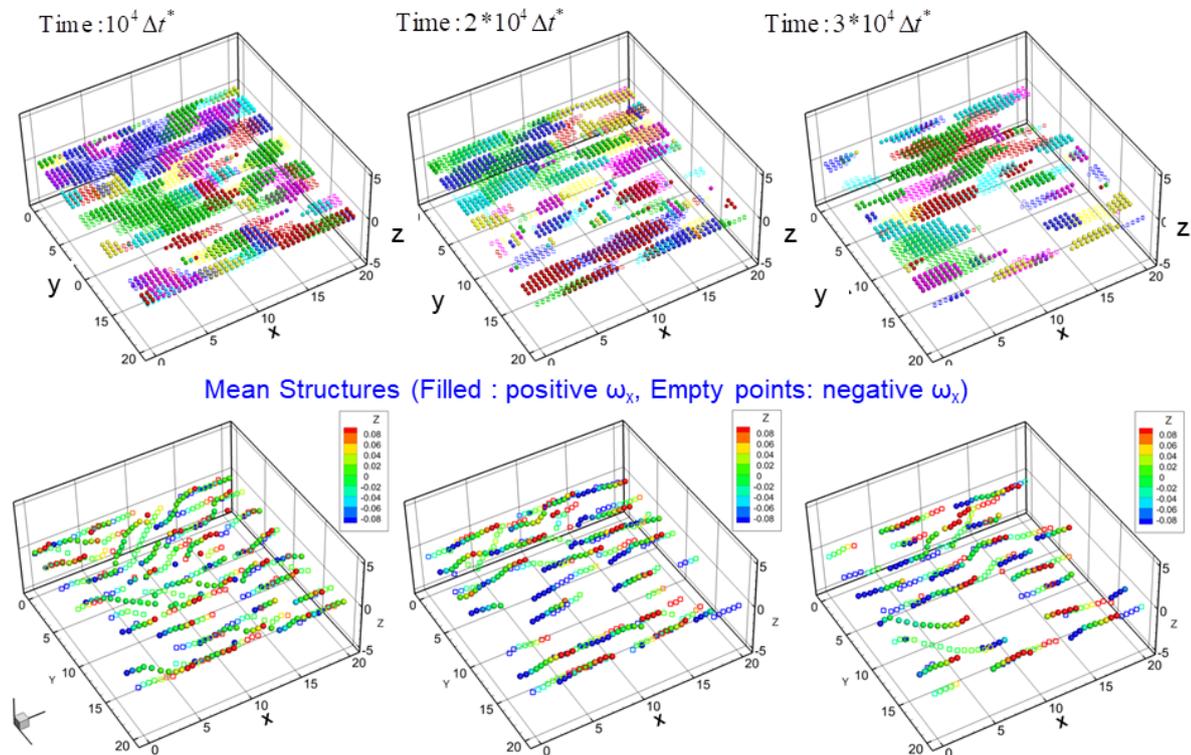
Result of Mixing Layer Computations: Iso-surfaces of the Streamwise (x) Vorticity
(Initial Condition: Velocity Discontinuity + 0.01% Random Disturbance)



Superscript * : quantities non-dimensionalized by the sound speed and reference length derived from Re=400 at stagnation

図 2. 渦領域の形成に対する Mach 数の効果 (成果発表 5 より)

3D Structure of the Streamwise (x) Vorticity Regions Extracted by Hierarchical Clustering Method (M=2.0)¹⁾



1) K. Matsuura & Y. Fukumoto, Phys. Rev. Fluids, 7, 054703 (2023).

図 3. Mach 2 の混合層において形成される渦領域の階層的渦クラスタリング分析結果 (成果発表 5 より)

■植生による土砂災害の抑制に関する研究

植生の地すべり軽減効果に着目した研究を実施した。一般に、根系の構造は、地盤破壊形態に違いをもたらす。しかし、従来文献でシミュレーションにより検討されてきた根系構造は、直棒状や連鎖円筒状などの単純形状であり、実際の根系のように枝分かれした形状を有していなかった。本研究では、ClausnitzerとHopmans (V. Clausnitzer & J. W. Hopmans, *Plant and Soil*, 164, pp. 299-314 (1994))による根系成長モデルと相互作用する土粒子の運動を離散要素法の枠組みで計算し、地盤補強への影響を検討した。初期時刻に衝動的に加えられたせん断変形に対する土の時間発展を再現した。その結果、根や根と相互作用する土粒子の分布が時間発展とともに拡大することがわかった (図4,5)。また、土壌水分の考慮に関する見通しを得た。

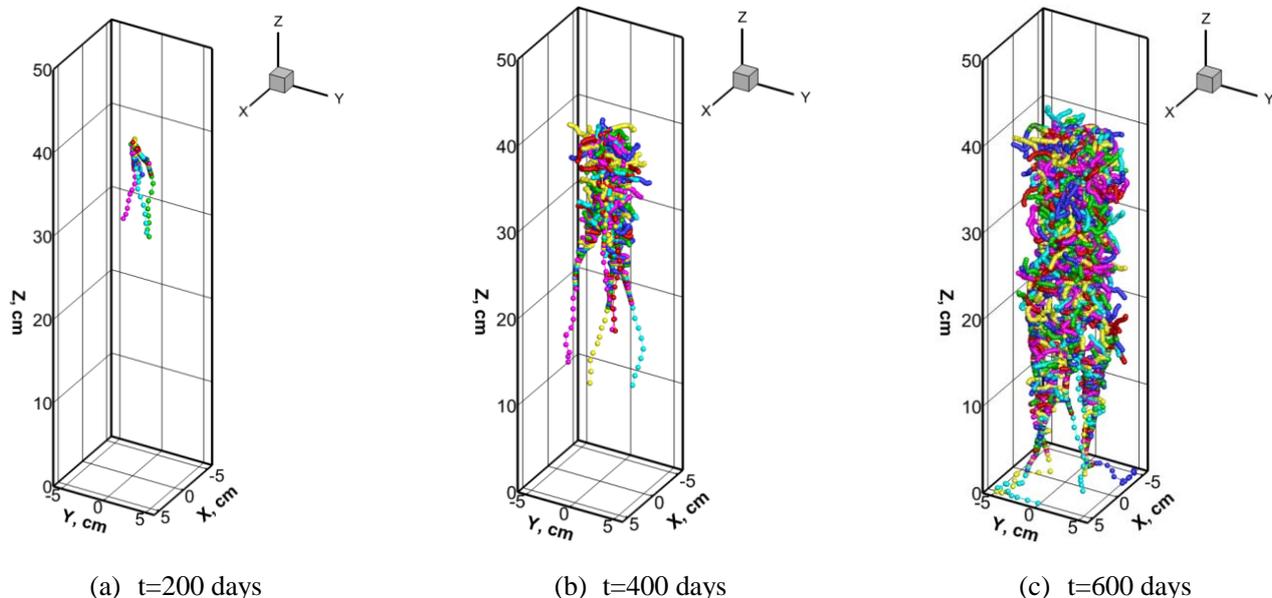
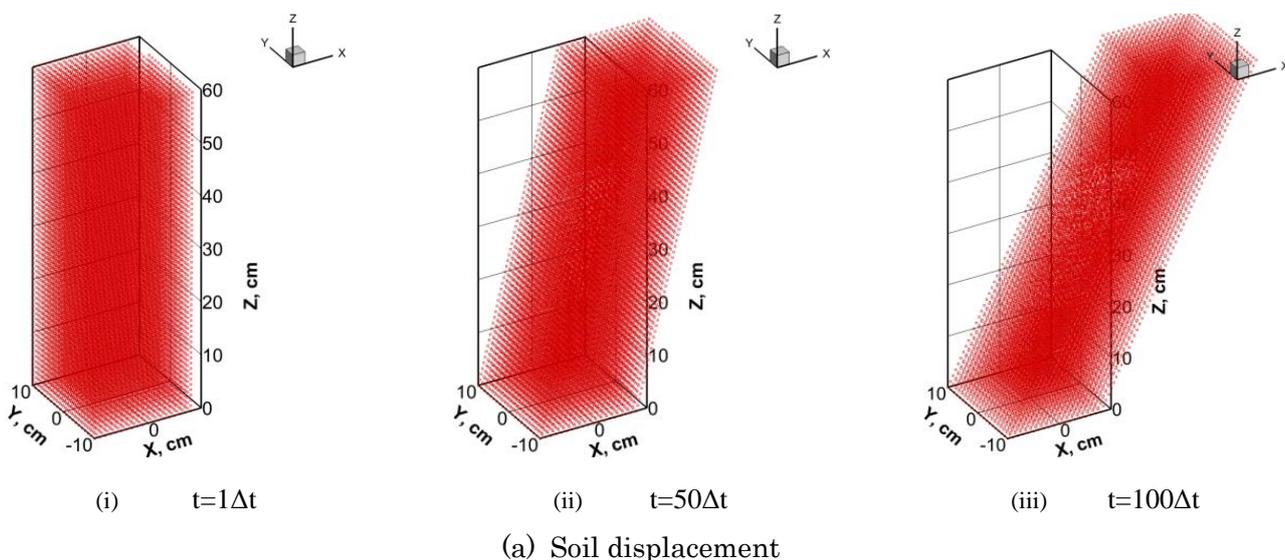


図 4. t=200, 400, 600 日目の根の成長 (z=40 mm から z=0 mm まで)。色の違いは、根系内の異なる連結経路、すなわちクラスター要素を示す。色数の制限により、いくつかの異なる経路が同じ色で示されている。(成果発表 1 より)



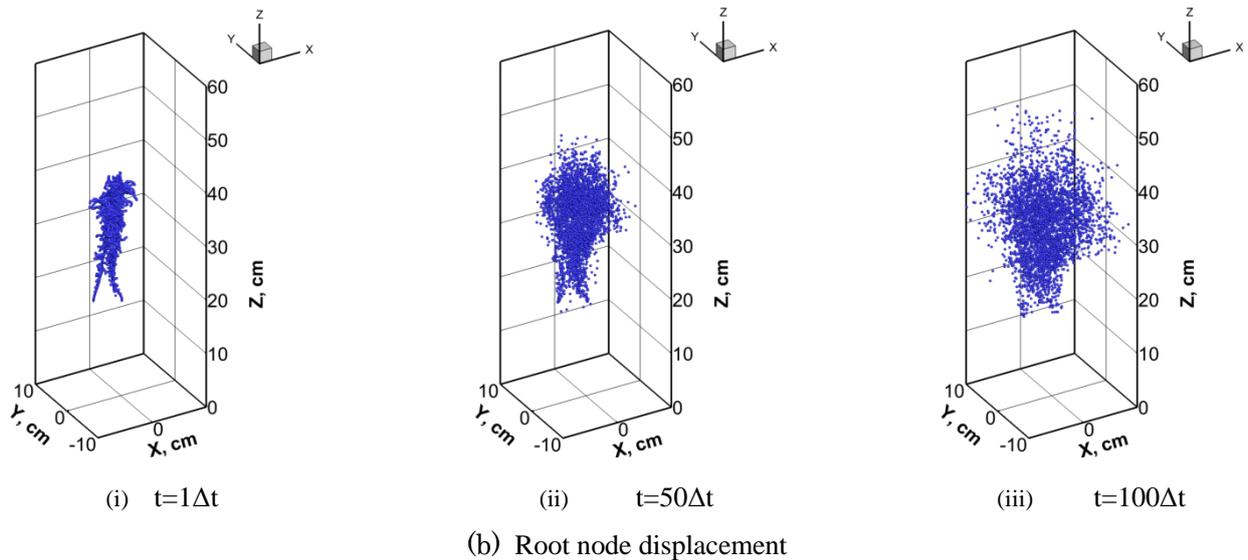


図 5. 剪断された土壌と根の相互作用 (成果発表 1 より)

■ 成果発表

1. Kazuo Matsuura, Yasuhide Fukumoto, Development of an Advanced Landslide Simulation Using Clustering Technology (full-length paper), *Proc. of 2nd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies*, pp. 1-6 (2023).
2. Kazuo Matsuura, Yasuhide Fukumoto, Development of an Advanced Landslide Simulation Using Clustering Technology (extended abstract), *Proc. of 2nd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies* (extended abstract), pp. 1-4 (2023).
3. Yasuhide Fukumoto, Rong Zou, Kazuo Matsuura, Nobutaka Taniguchi, Compressibility Effect on Kelvin-Helmholtz and Rayleigh-Taylor Instabilities, *Proc. of Twentieth International Conference on Flow Dynamics*, pp. 1-2 (2023).
4. Yasuhide Fukumoto, Rong Zou, Kazuo Matsuura, Nobutaka Taniguchi, Effect of Compressibility on Kelvin-Helmholtz and Rayleigh-Taylor Instabilities, *Exploration Conference, Interfaces and Mixing in Fluids, Plasmas, Materials @ Kavli Institute for Theoretical Physics, UC Santa Barbara*, Oct. 23rd, 2023.
5. Yasuhide Fukumoto, Rong Zou, Kazuo Matsuura, Nobutaka Taniguchi, Compressible Kelvin-Helmholtz and Rayleigh-Taylor Instabilities, *Abstract of the 2023 International Congress in Industrial and Applied Mathematics*, Aug. 20th, 2023.
6. Yasuhide Fukumoto, Rong Zou, Kazuo Matsuura, Nobutaka Taniguchi, Compressible Kelvin-Helmholtz and Rayleigh-Taylor Instabilities, *Abstract of 28th International Conference on Statistical Physics (Statphys28)*, 2023.
7. Yasuhide Fukumoto, Rong Zou, Kazuo Matsuura, Nobutaka Taniguchi, ケルヴィン・ヘルムホルツ不安定性とレイリー・テイラー不安定性に対する圧縮性の効果, 日本物理学会第 78 回年次大会, 2023 年 9 月 18 日
8. 福本康秀, Zou Rong, 松浦一雄, 谷口伸隆, 「圧縮性ケルヴィン・ヘルムホルツ・レイリー・テイラー不安定性」, 2023 年度日本流体力学会年会東京農工大学小金井キャンパス, 2023 年 9 月 22 日

■ 参加者リスト

松浦一雄, 愛媛大学

福本康秀, 九州大学マスフォアインダストリ研究所

階層的渦クラスタリングを用いたマイクロプラスチックの効率的回収法に関する研究

| | |
|---------------------------|--|
| 整理番号 | 2023a018 |
| 種別 | 一般研究-短期研究員 |
| 研究計画題目 | 階層的渦クラスタリングを用いたマイクロプラスチックの効率的回収法に関する研究 |
| 研究代表者 | 松浦 一雄 (愛媛大学大学院理工学研究科・准教授) |
| 研究実施期間 | 2023年11月21日(火)～2023年11月22日(水) 2024年2月29日(木)～2024年3月1日(金) |
| 研究分野のキーワード | マイクロプラスチック, 海洋ゴミ, 流体力学, 渦, クラスタリング, 圧縮性Navier-Stokes方程式 |
| 目的と期待される成果 | <p>世界中で、最低でも年間800万トンのごみが海に流出し、そのうち2～6万トンが日本で発生していると言われている (J.R. Jambeck, et al., Science, 2015)。海洋ごみは、生態系、漁業、観光や船舶航行など多方面へ悪影響を及ぼす。特に、海洋ごみが紫外線や海流による機械的破壊によって5mm以下と微細化したマイクロプラスチック(MPS)は、回収困難であり、生体内に取り込まれやすく、及ぼす健康被害も未解明であることから、緊急課題と位置付けられている。SDGsでも12および14番の目標に対応する。</p> <p>申請者が面する瀬戸内海は四方を四国・九州・本州の陸地に囲まれているためゴミが溜まりやすい一方で、大小約700と多くの島々が点在する世界的にも美しい景観を有し、水産業も盛んな地域である。海域を保護することが必要であるが、MPSの有効な回収法は未だ確立していない。本研究は、このMPSを効率良く回収・除去する新手法について研究する。</p> <p>瀬戸内海におけるマイクロプラスチック分散海洋流のLarge-Eddy Simulationを行い、その結果からLagrangian Coherent Structure (LCS) 解析および階層的渦クラスタリング解析をすることにより、マイクロプラスチックが海洋表面および内部でどこに密集しやすいのか、またどこで、いつ効率良く回収しやすいかが明らかになる。これら研究を通して、瀬戸内海をより綺麗で安全・安心な水産資源の海にする方法を考える。</p> |
| 組織委員(研究集会) 参加者(短期共同利用) | 松浦 一雄 (愛媛大学・准教授) 福本 康秀 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所・教授) |