

[24]全国共同利用研究成果報告

<https://doi.org/10.15017/4763148>

出版情報：全国共同利用研究成果報告. 24, 2021-03. Research Institute for Applied Mechanics,
Kyushu University

バージョン：

権利関係：



2020S3-1

ドローンと AI による海岸漂着ごみ定量化手法の高度化

加古真一郎・西部留奈(鹿児島大)・Se Songploy(チュラロンコン大[タイ王国])

1. はじめに

近年、漂着ごみ量の正確な現状把握を行うため、ドローンと人工知能(AI)を組み合わせた海岸漂着プラスチックごみの体積推定手法が Kako et al. (2020)によって提案された。この手法は、過去に提案された手法(Nakashima et al., 2011 など)と比べ、迅速で客観的かつ高精度な海岸漂着ごみの定量化が可能であるが、汎化性能向上のために解決しなければならない問題が2つ存在する。1つ目は、航空測量によって得られる位置情報補正の問題、2つ目はAIに基づいた画像解析の汎化性能の問題である。本研究の目的は、これらの問題に対して新しい方法を提案し、その有効性を検討することにある。1つ目の問題は、Differential Global Positioning System(DGPS)方式による位置補正を導入し、その解決を試みる。衛星受信が可能であれば、場所の如何を問わず実施可能なこの方法の有効性を、Kako et al. (2020)が用いた Real time kinematic(RTK)方式による位置補正との比較を通して検討する。2つ目の問題に対しては、近赤外などの多数のチャンネルを有するマルチスペクトルカメラ(Multi Spectral Camera; MSC)を導入することで解決を試みる。このカメラから得られた画像を用いて学習データを作成し、AIによるごみ抽出に対するその有効性の検討を行う。

2. 方法

2-1. DGPS 方式によるドローンの位置補正

本研究では、ドローンによる観測を鹿児島県内4箇所(吹上浜2箇所、寺山公園、越路海岸)で実施し、位置補正に対するDGPS方式の有効性を検討した。DGPS方式では、位置情報の取得をドローンと基準局において同時に行う必要がある。この基準局は、2回の観測では観測場所に設置したものを、その他の観測では近傍の電子基準点(金峰、笠沙)を用いた。DGPS方式は、基準局で得られた位置情報と、正確な位置情報の誤差をその都度求め、ドローンの位置を補正する。本研究では、補正データを250 ms毎に取得し、観測で得られたExifファイルの時間情報と照らし合わせ、同時刻の位置情報と入れ替えた。このような処理を行なった画像を用いて、Kako et al. (2020)と同様の方法で3次元地形モデルを構築した。



図1 受信機を搭載したドローン

2-2. MSC を用いた海岸観測

本研究ではMSCを用いた観測を、鹿児島県南さつま市の越路海岸と、長崎県五島市の大串海岸で実施した。MSCは、赤、青、緑、赤エッジ、近赤外、RGBの6つのチャンネルを有し、それぞれを組み合わせることで、対象物検知に適切な画像を作成することができる。海岸漂着ごみ抽出のために用いた画像解析手法は、Kako et al. (2020)と同様のAIに基づいた方法であり、この画像解析の学習データとして、RGB画像だけでなく、MSCから得られた画像も用いた。

3. 結果

3-1. DGPS 方式によるドローンの位置補正

DGPS方式とRTK方式、それぞれを用いて、ドローンの位置補正を行った結果を表1に示す。ここでは、3次元地形モデルの標定点間の距離を求め、トータルステーション(TS)による現地測量(距離約50m)との比較を行なった。表1から、DGPSは、RTKよりも精度は劣るものの、大きく

表1 現地測量との比較

		RTK	DGPS	補正なし
吹上	A誤差(cm)	-0.125	41.624	93.009
	B誤差(cm)	0.126	44.493	93.249
寺山	A誤差(cm)	0.781	1.707	119.676
	B誤差(cm)	-0.917	0.323	111.472

位置精度を向上させることが可能であることがわかる。しかしながら、吹上浜での補正後の精度は、寺山公園のそれと比べると大きく（約 40 cm）、ペットボトルなどの海岸漂着ごみを定量化する上では、この誤差は許容できない。また、近傍の電子基準点を基準局とした場合は、補正をすることができなかった。これは、電子基準点とドローン間の距離が長くなること、電子基準局の受信頻度が粗い（30s）ことに起因する。

3-2. MSC を用いた漂着ごみの検出・定量化

図 2 に、越路海岸、大串海岸におけるドローン観測から得られた海岸画像の一部を示す。前者では、漂着ごみよりも流木が多く存在し、後者では多量の漂着ごみが存在していることがわかる。図 3 は、図 2 と同様箇所を、MSC で撮影した画像である。越路海岸は赤と近赤外の組み合わせ、大串海岸は近赤外から得られたものである。この二つの画像から学習データを作成し、それぞれの海岸で対象物の検出を行うことで、MSC の有効性を検討した。



図 2 RGB 画像

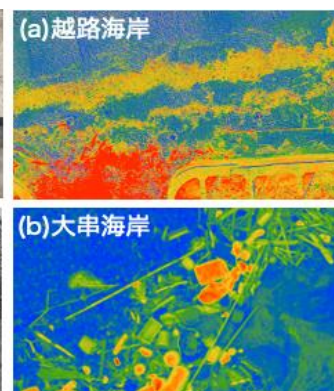


図 3 MSC 画像

その結果を図 4 に示す。越路海岸においては、RGB 画像のみを学習データとした場合、流木の抽出はできなかったが、MSC を学習データに用いたところ、その検出が可能となった（図 4a）。一方、大串海岸における漂着ごみの検出においては、MSC の導入は、誤検出を増大する結果となった（崖の誤検出が増大；図 4b, c 赤丸部分）。故に、越路海岸では MSC を、大串海岸では RGB カメラを学習データとして使用し、これをもとに漂着ごみの体積を推定した。主観解析による画像処理とそれぞれの結果を比較したところ、越路海岸では 10%（主観解析:7.95 m³, AI:8.81 m³）、大串海岸では 1.8%（主観解析:17.69 m³, AI:18.00 m³）の誤差で体積推定が可能であることが示された。

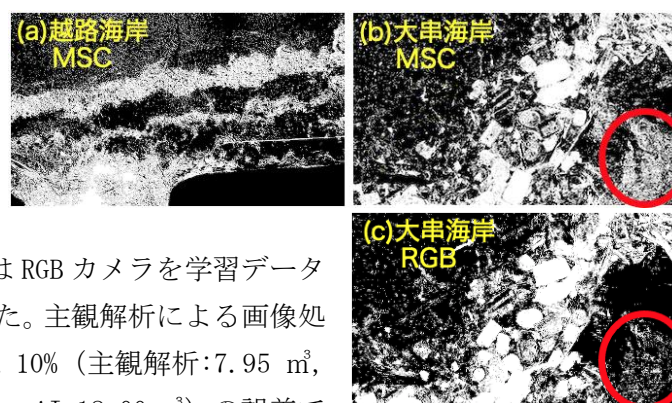


図 4 抽出結果

4. 考察と今後の課題

本研究では、ドローンによる航空測量を行う際の DGPS 方式による位置補正の有効性と、AI に基づいた画像解析を行う上での MSC の有効性を検討した。使用地域に縛られない DGPS 方式は、RTK ドローンとほぼ同精度で航空測量が可能であることがわかった。但し、電子基準点でなく基準局を観測地に設置することが必要であり、誤差情報の取得を誤れば大きな精度低下を招くこともわかった。解析を行う際には、受信する衛星、信号の種類、仰角マスクなどの選択を行う必要があるが、この組み合わせによって、解析結果は大きく変わる。また、これらは、場所や天気などの観測条件により適切に選択しなければならないが、吹上浜の観測においては、この最適な組み合わせを見つけることができなかった。今後さらに観測を行い、正確な誤差情報を安定して得ることができる条件について検討し、常に最善の選択をできるようにになれば、DGPS を用いることで、RTK が導入されていない開発途上国での正確なドローン観測が実現できる。画像解析に関しては、MSC の有効性は海岸毎に異なり、漂着ごみの抽出よりも、崖や流木などといった自然物の検出に適していることがわかった。この MSC を用いれば、漂着ごみと自然物が混ざった海岸において、その二つを分離することができる。また、MSC と RGB カメラから得られた画像を単純に組み合わせてトレーニングした AI モデルには、誤差が多く含まれる結果となった。故に、今後は、この二つを適切に組み合わせ、AI モデルの精度を向上させる試みも必要である。

研究組織・加古真一郎・西部留奈(鹿児島大)・Se Songploy(チュラロンコン大[タイ王国])

タイにおけるプラスチックマテリアルフロー分析

中央大学 佐々木創

背景および目的

タイにおいては、2019年4月にタイの内閣は「プラスチック廃棄物管理ロードマップ」を承認した。このロードマップの目的は、2027年まで海洋プラスチック50%削減とし、それを達成する数値目標として品目ごとの削減目標率と廃プラのリサイクル目標率が設定されている。この中で、2022年までにレジ袋の使用禁止が記載されていた。しかし大手流通事業者は、2020年年始からレジ袋の無料配布を停止することを天然資源環境省と合意し、2020年始から実際に75の大手流通事業者が配布を取りやめた。

順調なスタートを切った大手流通事業者によるレジ袋の無料配布であるが、タイにおいてもCovid-19の感染を防止するため、2020年3月26日に非常事態宣言の発令により、いわゆるロックダウンの措置が実施され生活様式が一変する。特に、タイは外食・中食文化であるがレストランや屋台では食事が出来なくなったためフードデリバリーが急増している。

本研究では、タイにおけるマテリアルフロー研究の基礎資料となるタイ語の1次文献を翻訳し、2020年の年始から現在までの廃プラに関連する各種報道や関連データなど整理・分析することを主目的とした。

研究の方法

まず、共同研究の実績がある Sujitra 講師や、SATREPS でカウンターパートとなる Manit 准教授の協力でタイ語文献の1次資料を収集した。その上で、リサイクル関連の専門翻訳において定評のある T.K. Wise Group 社に英訳を委託した。本研究で翻訳した文献は以下の通りである。

1. Plastics Intelligent Center, *Circular Economy*, Plastics Institute of Thailand, 2020
2. Thiraphat Muangsaen, *Eco Design For Plastics*, Plastics Institute of Thailand, 2020
3. Sataporn Saphanuchart, *Role Plastics Industry*, Plastics Institute of Thailand, 2020
4. Waste and Hazardous Substance Management Division, *A Three-Year Government Action Plan (2020-2022)*, Pollution Control Department, 2020
5. Pollution Control Department, *The Analysis on the Connection of Municipal Solid Waste Statement 2019*, in Thailand State of Pollution Report 2019, pp.98-121, 2020

また、1から3の文献を発行している Plastics Institute of Thailand が会員向けに提供しているバージョン・プラスチック原料の生産や価格などの市場動向のデータベースのアクセス権も得たことで、リサイクル市場価格との分析を実施した。

結果および考察

コロナ禍で生活様式が一変し、フードデリバリーが急増したことでバンコクにおける廃プラ量は62%も増加した。廃プラ量の変化によって、タイ国内のプラスチックリサイクル市況が悪化している。タイ全土に1,160店舗（フランチャイズを含む）を運営する最大の買取業者である Wongpanit 社では廃プラを44種類に分けて買い取っており、その買取価格はほぼ毎日更新されている。容器包装の中で高価である透明な廃ペットボトルの買取価格では、直近の2年間の最高値2019年8月と9月の10バーツ/kg から2020年8月末に最安値の3バーツ/kg になっている。また、ラストマイル配送包装としてフードデリバリーで利用される発泡スチロールも2020年4月～8月末で最安値1.5バーツ

／kg になっている（図1）。

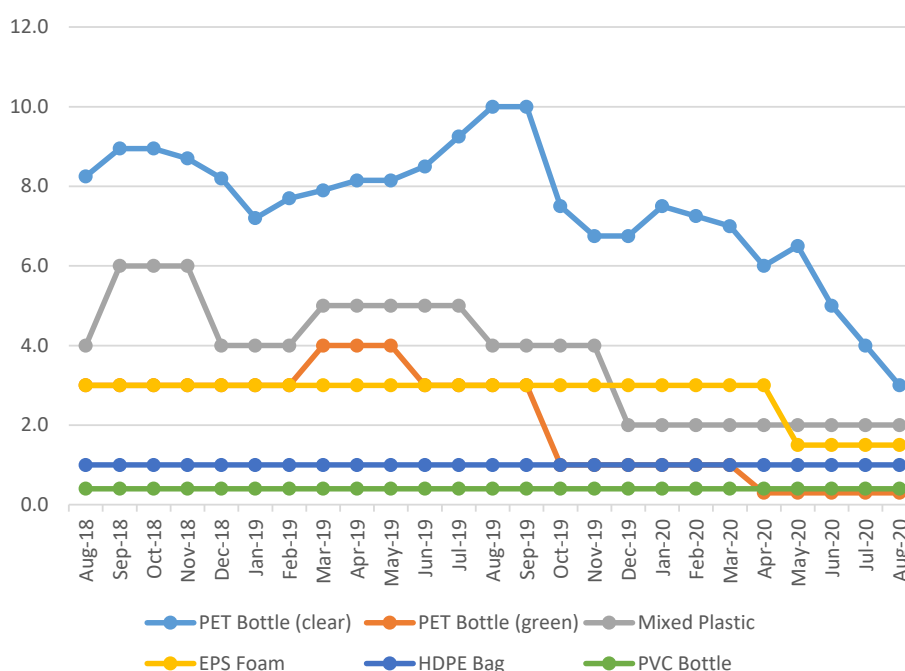


図1 タイの主要廃プラの国内取引価格(単位:バーツ/kg)

他方で、Plastics Institute of Thailand から提供されたデータを基に分析すると、タイの生産においても PET のバージン原料は原油先物 WTI 価格などの国際市況と連動している。世界的な景気悪化によって、PET のバージン原料と国内廃ペットボトルの価格レンジの乖離が起きていたことが判明した。

したがって、廃プラの供給が過剰となる中で、バージン原料価格が低下しリサイクル材の需要は減っており需給は緩んでいることから、廃プラの種類によっては、リサイクル工場引取時には逆有償化しつつあることを明らかになった。

このような状況に対して、廃プラ削減自体は国際的な潮流であり意義があるが急進な取り組みよりも、タイでは分別排出による減量化に資する収集体制の構築や容器包装リサイクル法を制定することが優先順位の高い課題であり、それを科学的なエビデンスとして提供できるマテリアルフロー分析の深化が必要となると考えられる。

研究組織

佐々木創 中央大学

Manit Nithitanakul チュラロンコン大学

Sujitra Vassanadumrongdee チュラロンコン大学

Voranop VIYAKARN チュラロンコン大学

Suchana Apple Chavanich チュラロンコン大学

委託先

T.K. Wise Group Company Limited

タイ湾における漂流プラスチックごみの現存量推定の日・タイ共同海洋調査および東京湾での 予備調査

荒川久幸(東京海洋大学)・

協力：磯辺篤彦(九州大学)

1. Introduction

After COVID-19, we (Japan side of SATREPS project) has a plan to observe microplastics with SEAFDEC members in the below three plans.

1. Distribution of microplastics (MP; 0.35-5mm) in the Gulf of Thailand.
2. Small microplastics (less than 0.35mm) in the Gulf of Thailand.
3. Distribution of large size plastic litters.

2. Plan

The detailed plan for sampling microplastics are as follows.

Plan 1. Distribution of microplastics (0.35-5mm) in the Gulf of Thailand.

Collecting materials; Neuston net (mesh opening; 0.35 mm, boat speed; 2kt, Towing period; 10 or 20 minute), WPO treatment and density separation (NaI), MPs detection; FTIR with ATR

Plan 2. Distribution of small microplastics (less than 0.35mm) in the gulf of Thailand.

Collecting materials; Neuston net (mesh opening; 0.05 mm, boat speed; 1kt, Towing period; 10 minute), WPO treatment and density separation (NaI), MPs detection; micro FTIR

Plan 3. Distribution of large size plastic litters.. Data collecting by visual observation.,

Visual observation is carried out once for 1 hour between observation stations.

3. Observation schedule

- Observation positions set in Figure 1.

These observation points were just placed to understand the overall feature of MP distribution in the gulf. To understand the distribution more precisely, we might need some additional stations. Therefore, the stations in Figure 1 can be a tentative plan, which may be changed appropriately.

- A neuston net with small mesh opening (50 μ m) is needed to collect the small MPs.

- It may be difficult for SEAFDEC to analyze the MPs sizes after extracting from seawater sample bottles in their laboratories. If this is the case, it is OK for us to collect seawater samples only and keep the bottles until we have a training course for analyzing to SEAFDEC members.

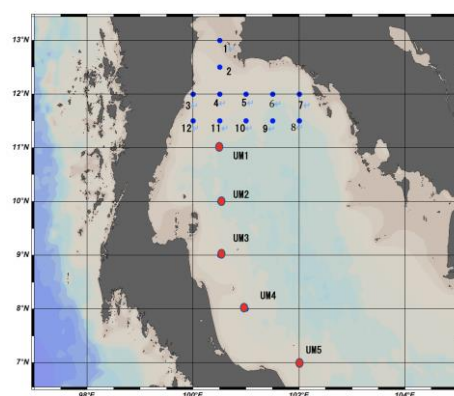


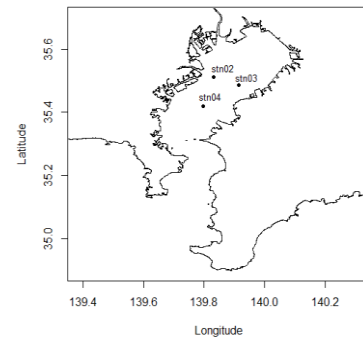
Figure 1

4. MPs in the bottom sediments in Tokyo Bay

The amount of waste plastic spilt into the ocean between 1961 and 2017 is estimated at 21.4 million tons. It was considered about 47.4% of these plastics were degraded into plastic pieces (microplastics, as MPs) less than 5 mm in diameter (Lebreton et al., 2017). Previous studies indicated that about 7.44 Mtons MPs accumulated on the seabed as sediments (Matsuguma et al., 2017). MPs in sediments are incorporated into lower ecosystems and expected to have some negative effects (Galloway et al., 2017). The impact of MPs is still unknown.

Studies on MPs smaller than 350 μ m in sediment are limited. A few research to evaluate the horizontal and seasonal distribution of MPs in seabed sediments. The contamination of MPs in the sediments of Tokyo Bay is few reported. In order to know the dynamics of MPs in estuary of big city, it is necessary to clarify the horizontal distribution and seasonal changes of MPs' concentration smaller than 350 μ m in seabed sediments.

Sampling were conducted in May 2019 using Seiyō-Maru, and in Jan 2020 using Hiyodori. Observation points were arranged at inner bay of Tokyo Bay(three points: Stn02, Stn03, Stn04). About 5cm thickness of seabed sediment samples at each station were taken by Ekman-Birge sampler.



MPs in the sediment were comprised of various polymers, including PE, PP, PA, PS, co-polymer and other synthetic. The average concentration of MPs are 29.1 $\pm$ 4.2, 22.4 $\pm$ 9.4, 9.9 $\pm$ 4.9 pieces/g-dry respectively. It shows that the horizontal distribution of MPs is Stn02>Stn03>Stn04. There were significant difference between Stn02 and Stn04 ($p<0.05$).

Table 1. the number of MPs in Stn02, Stn03, Stn04

	PE	PP	PA	PS	co-polymer	other synthetic	Total	Concentration (pieces/g-dry)
Stn02	5	2	0	0	2	4	13	25.2
Stn02_02	3	5	0	1	0	5	14	27.1
Stn02_03	1	8	0	1	3	5	18	34.9
Average $\pm$ S.D.								29.1 $\pm$ 4.2
Stn03	1	2	0	0	0	2	5	9.1
Stn03_02	4	7	3	0	0	2	16	29.1
Stn03_03	1	5	2	0	4	4	16	29.1
Average $\pm$ S.D.								22.4 $\pm$ 9.4
Stn04	8	1	8	0	1	4	22	16.7
Stn04_02	0	2	2	0	1	3	8	6.1
Stn04_03	1	4	2	0	1	1	9	6.8
Average $\pm$ S.D.								9.9 $\pm$ 4.9

タイとミャンマーにおけるマイクロプラスチックの発生源検証

中田晴彦(熊本大)・磯辺篤彦(九州大)・Vorano Viyakarn, Suchana Chavanich,

Sujaree BUREEKUL(チュラロンコン大)

This year we conducted the investigation of deep sea debris and additives in plastic debris littered on a Samae San area of Thailand.

1. Deep sea debris

Plastic waste has become a growing concern in terms of marine pollution, but little information is available on plastic debris and its possible risks of chemical additives exposure in the deep-sea. This study focused on identification of polymer type and additive concentrations in 21 plastic debris collected from deep-sea of Sagami Bay, Japan and West Pacific Ocean under the Kuroshio Extension and its recirculation gyre (KERG) zone (water depth: 1388–5819 m). Polyethylene (PE) was dominant polymer (57% of the total) in samples, followed by polyvinylchloride (PVC), epoxy resin, polyester (PES), and polypropylene. In plastic additives, bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) was detected to be contained in a PVC sheet at concentration of 48%. Butylated hydroxytoluene (BHT) was also detected in PE plastic debris with median concentration of 12,000 ng/g. PES clothes were detected to contain dyeing mixtures, 1,2,4-trichlorobenzene (1,2,4-TCB), up to 42,000 ng/g. Knowing the estimated number of plastic debris under KE current, the minimum burden of chemical additives were estimated that 720 kg of dibutyl phthalate, 570 kg of BHT, 230 kg of DEHP, and 160 kg of 1,2,4-TCB exist on the seabed of KERG zone. This result strongly suggests that enormous amount of hazardous additives lie within plastic debris on abyssal level of the ocean.

2. Sampling beach litter on Samae San area

Plastic debris (Photos) sampled on a beach in the Samae San area was sent to Kumamoto University. The additives in these samples are now extracted to quantify their toxicity. The potential additives are shown in Table 1 as detected in Nurlatifah et al. (2021, Sci. Total Environ, 768, 144537).

Table 1
Concentrations of plastic additives (ng/g dry wt.) in plastic debris collected from western North Pacific and Sagami Bay, Japan.

Sampling ID	Sampling location	Moisture content (%)	Polymer type	Plasticizers							Antioxidant		Dye mixtures			Flame retardants	
				DMP	DEP	DAP	DiBP	DBP	BBP	DEHP	DOA	BHT	1,3,5-TCB	1,2,4-TCB	1,2,3-TCB	TPhP	EHDP
Plastic bag																	
1553_D1	West Pacific Ocean	0	PE	28	52	<86	34	<150	<120	2500	<16	11,000	<7.0	<16	<16	530	<130
1553_D4	West Pacific Ocean	0	PE	150	46	<86	30	<150	<120	3800	<16	16,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1554_D4	West Pacific Ocean	0	PE	12	21	<86	20	<150	<120	13,000	2200	33,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1554_D7	West Pacific Ocean	0	PE	40	45	<86	51	<150	<120	3500	63	25,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D1	West Pacific Ocean	0	PE	7.0	<6.0	<86	<3.0	<150	<120	4700	<16	17,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D6	West Pacific Ocean	0	PVC	6.0	<6.0	26,000	<3.0	1700	740	2500	2800	3100	<7.0	<16	<16	<200	180
Plastic package																	
1554_D6	West Pacific Ocean	0	PE	15	24	87	21	<150	<120	3000	550	25,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D2	West Pacific Ocean	0	PE	26	<6.0	<86	<3.0	<150	<120	<90	<16	22,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D5	West Pacific Ocean	0	PE	19	<6.0	160	<3.0	250	<120	<90	<16	1800	<7.0	<16	<16	<200	<130
1558_D2	Sagami Bay	0	PE	8.0	31	<86	16	170	<120	340	<16	12,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D4_IN ^a	West Pacific Ocean	0	PE	39	37	<86	92	480	<120	3100	130	11	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D4_OUT ^a	West Pacific Ocean	0	Nylon	850	470	230	450	3000	<120	2700	<16	23	<7.0	<16	<16	<200	<130
1558_D3_IN ^a	Sagami Bay	0	PP	48	63	<86	170	1300	<120	2100	2600	6400	<7.0	<16	<16	<200	<130
1558_D3_OUT ^a	Sagami Bay	0	PET	72	100	<86	<3.0	<150	<120	720	54	940	<7.0	<16	<16	<200	<130
Plastic sheet																	
1554_D5	West Pacific Ocean	0	PE	14	28	<86	29	<150	<120	3500	74	11,000	<7.0	<16	<16	<200	<130
1555_D3	West Pacific Ocean	0	PVC	8.0	38	300	15	3900	310	480,000,000	69	4700	<7.0	<16	<16	<200	<130
Clothes																	
1554_D2-1	West Pacific Ocean	21	Nylon	230	2500	<86	360	600	<120	3300	<16	1600	<7.0	<16	<16	<200	<130
1554_D2-2	West Pacific Ocean	39	PES	290	3100	<86	440	4200	<120	1700	63	630	<7.0	330	43	<200	<130
1553_D2	West Pacific Ocean	55	PES	260	3800	<86	660	36,000	410	2500	35	250	<7.0	42,000	9300	<200	<130
Rope																	
1553_D3	West Pacific Ocean	12	PE	170	3100	<86	470	560	<120	400	<16	130	<7.0	<16	<16	<200	<130
1558_D5	Sagami Bay	7	PP	130	2100	<86	520	870	<120	800	<16	230	<7.0	<16	<16	<200	<130
Can																	
1554_D1	West Pacific Ocean	0	Inside: Epoxy Resin Outside: Poly(triethyleneglycol isophthalate)	9.0	<6.0	<86	16	180	<120	280	<16	130	<7.0	<16	<16	<200	<130
1558_D4	Sagami Bay	0	Inside: Epoxy Resin Outside: Poly(2,2-dimethyl-1,3-propanediol isophthalate)	9.0	<6.0	<86	<3.0	<150	<120	<90	<16	18	<7.0	<16	<16	<200	<130

PE: Polyethylene, PVC: Polyvinyl chloride, PP: Polypropylene, PET: Polyethylene terephthalate, PES: Polyester.
DMP: Dimethyl phthalate; DEP: Diethyl phthalate; DAP: Dialyl phthalate; DBP: Diisobutyl phthalate; BBP: Benzyl butyl phthalate; DEHP: Bis(2-ethylhexyl) phthalate; BHT: Butylated hydroxytoluene; 1,3,5-TCB: 1,3,5-trichlorobenzene; 1,2,4-TCB: 1,2,4-trichlorobenzene; 1,2,3-TCB: 1,2,3-trichlorobenzene; TPhP: Triphenyl phosphate; EHDP: 2-ethylhexyl diphenyl phosphate; DOA: Dioctyl adipate.
^a IN: Inside, OUT: Outside.



海洋マイクロプラスチック研究に関わるタイ南部の国際連携拠点の構築

田中周平(京都大学)

協力者：・磯辺篤彦(九州大学)・Voranop Viyakarn, (チュラロンコン大学)

Researchers in Thailand (Tables in the next page) had a small meeting on 16 Nov, 2020 to confirm possible collaboration with researchers on the Japan side. The agenda of the meeting is below.

1. Objectives:

1. To introduce the projects and project members
2. To inform and clarify on the project rules and protocols for Thai sites and Thai participants
3. To describe overall proposed research in the project
4. To discuss among researchers in each group on the details of research that will be conducted under this project

2. Accomplishments:

1. Thai researchers understand about the overall project activities and what benefits Thailand and Thai researchers will have under this project
2. Thai researchers learn about research details that Japanese site proposed
3. Thai researchers in each group proposed some additional activities that can help the project to be more completed and suited with the need of the Thailand government organizations

3. Schedule of the meeting:

0900–0930	Introduction of the project and project members
0930–1100	Project rules and protocols for Thai site and Thai participants
1100–1200	Overall proposed research in the project
12.00–1300	Lunch
13.00–1600	Discussion on the details of each research area that will be conducted under this project



時系列データに見られる短期的な不規則変動の分析

サブテーマ代表者：兵庫県立大学大学院 シミュレーション学研究科 中村 知道

1 研究目的

超高温で磁場によって閉じ込められているプラズマの中では、密度と温度の勾配が普遍的に存在し、それによって乱流が形成される。プラズマを安定して閉じ込めるためには、この乱流の物理的性質を理解することが必要不可欠である。乱流は、プラズマ流体の密度、温度、電位等の物理諸量の不規則な振動として観測される。そのため、プラズマ流体が持つ性質を詳細に理解するためには、観測によって得られる時系列データを詳しく調べる必要がある。本研究課題代表者（中村 知道）は、時系列データの特徴を統計的に分析する手法を開発し、実データへ応用を行っている。本研究の目的は、研究課題代表者によって開発された方法を磁場閉じ込めプラズマ中のドリフト波乱流の大容量時系列データに応用し、新たな知見を得ることである。

2 現在までの研究結果

本研究では、中村によって開発されたデータの隠れた情報を統計的に分析する small-shuffle surrogate (SSS) 法 [1] を、直線プラズマ装置におけるプラズマ乱流の実験データ解析に適用する。これにより、プラズマ現象の未知の部分をあぶり出し、得られる結果の物理的意味を理解しながら、プラズマ現象のより深い理解につなげていくものである。この SSS 法は、データに中・長期的なトレンドがあったとしても、そのデータに含まれる短期的な不規則な変動に相関構造が存在するかどうかについて分析を行うことができる。本年度も昨年度に引き続き end-plate biasing 実験で観察されたプラズマ密度とプラズマ電位データを用いて、2つの分析を行った。1つは、プラズマ密度とプラズマ電位の間に高周波な結合 (high frequency coupling) が存在するかどうかについて調査した。その結果、印加電圧が低いときも高いときも、プラズマ密度とプラズマ電位の間には、高周波な結合が示唆された。もう1つは、プラズマ密度のマイクロ乱流が存在する周波数範囲に関する調査を行った。現在、本検討に関する論文を査読付き論文へ投稿準備中である。

本研究は単なる既存手法の適用ではなく、マイクロ乱流についての理解も必要となるため、応用力学研究所のスタッフと議論を重ねながら、更なる分析を進めていく予定である。

3 今後の研究の方向について

マイクロ乱流はプラズマ乱流スペクトルの高周波成分に主に対応すると考えられているが、マイクロ乱流の振る舞いはインコヒーレントであると考えられているため、プラズマ乱流のスペクトルからマイクロ乱流の特徴を知ることは容易ではない。SSS 法は、データの順番を局所的に入れ替えることで、元のデータが持つ相関構造とは異なる人工的なデータ（サロゲートデータ）を生成する。データを入れ替える範囲は、大きくすることも小さくすることも可能である。SSS 法はデータの周波数の特徴を直接操作する方法ではないが、データを入れ替える範囲を大きくすれば、より広い高周波成分が変わることになり、データを入れ替える範囲を小さくすれば、より狭い高周波成分が変わることになる。このようにデータを入れ替える範囲を調整することで、調査する周波数範囲を変えることが出来る。このような詳細なマイクロ乱流の分析を行うことで、マイクロ乱流の理解が深まると共に、新しい知見を得ることが出来ると思われる。

4 研究成果発表

- 中村 知道, “プラズマ密度のマイクロ乱流に関する分析”, MHD 理論関連の研究会 (プラズマの複雑現象を対象としたデータマイニングの活用)、2020 年 11 月 4 日 (水)、5 日 (木)、核融合科学研究所、Microsoft Teams オンライン会議 (口頭発表)
- 中村 知道、稲垣 滋 “プラズマ密度とプラズマ電位間のマイクロ乱流の相関構造に関する検証”, 第 37 回 プラズマ・核融合学会 年会、2020 年 12 月 1 日 (火) ~4 日 (金)、オンライン会議 (口頭発表)
- 中村 知道, “局所定常自己回帰モデルを用いたプラズマデータの分析”, プラズマインフォマティクス研究会、2021 年 1 月 29 日 (金)、ZOOM オンライン会議 (口頭発表)

5 研究組織

研究代表者 兵庫県立大学大学院 シミュレーション学研究科 中村 知道

所内世話人 九州大学 応用力学研究所 稲垣 滋

参考文献

- [1] Tomomichi Nakamura and Michael Small: “Testing for correlation structures in short-term variabilities with long-term trends of multivariate time series,” Physical Review E, Vol. 74, 041114 (2006).