

資 料

黒瀬川の被覆肥料に由来するマイクロプラスチック調査

中廣賢太, 花岡雄哉, 木村淳子

Microplastics derived from polymer-coated fertilizer in Kurose River

NAKAHIRO Kenta, HANAOKA Yuya and KIMURA Junko

(Received: November 5, 2024)

5 mm未満のマイクロプラスチックを含むプラスチックごみによる海洋汚染は、地球規模の環境問題となっており、陸域から海洋に流出するマイクロプラスチックの一因として、水田栽培等に使用される被覆肥料由来のプラスチック被膜殻の流出が懸念されている。そこで、広島県東広島市及び呉市を流れる黒瀬川の河川水中のプラスチック被膜殻を調査することで、農地からの流出及び海洋移行の実態把握を行った。黒瀬川の河川水中からプラスチック被膜殻が採取されたことから汚染実態が明らかとなり、河川水中の個数密度が5月の田植えの時期に高い傾向にあることから、代掻き作業後に多く流出していることが示唆された。

Key words : 海洋プラスチック問題, マイクロプラスチック, 被覆肥料, FT-IR

結 言

プラスチックは従来使用されてきた木材、金属、ガラス等といった素材にとって代わる形で、様々な製品に使用されており、我々の生活には欠かせないものとなっている。19世紀にポリスチレンやポリ塩化ビニルが発明されて以来、様々な種類のプラスチックが生み出されており、汎用化からまだ70年ほどしか経っていないが、製造されたプラスチック製品の総量は83億トンを超える[1]。83億トンのうち、廃棄された63億トンのプラスチック製品は、79%が埋立て処分又は海洋等の自然環境中に投棄されており、世界全体で毎年800万トンのプラスチックごみが陸域から海洋に流出していると推計されている[2]。

海洋等の自然環境中に流出したプラスチックごみは、紫外線や波等で劣化し、次第に微細片に破砕される。微細化したプラスチックごみと微細プラスチック製品のうち、5 mm未満のものは、「マイクロプラスチック」（以下、「MP」という。）と呼ばれている。MPは、プランクトンや魚類が誤って摂食する可能性が高く、生態系への悪影響が大きいと懸念されている。MPを含むプラスチックごみによる海洋汚染は、地球規模での重大かつ喫緊の問題となっており、海洋プラスチックごみ

の約8割が陸域から流入することから、陸域からの流出実態の把握や抑制に取り組む必要がある[3]。

陸域のプラスチックごみの環境中への残留及び海域への流出源の一つとして、農地土壌が注目されている。ビニールハウス、マルチシート、ネット、育苗用のポリポット、トレイ、収穫コンテナ、牧草用サイレージフィルム、肥料や農薬成分をプラスチック等の膜でコーティングした被覆肥料及びマイクロカプセル剤等、農業生産時には様々なプラスチック製品が長期的かつ広範に使用されることから、農地土壌にはプラスチックが残留、蓄積する[4]。その中でも、水稻栽培等に利用されるプラスチックで窒素肥料をコーティングした被覆肥料は、肥料成分が溶出した後に5 mm未満のプラスチック被膜殻（以下、「被膜殻」という。）が残留する。これまで様々な調査により河口や海岸等に漂着した被膜殻が確認されており、水田等の農地からの流出及び河川を通じた海域への移行が懸念されており[5,6]、早急に実態を把握する必要がある。

そこで本研究は、先行調査において指摘されてきた被覆肥料由来のMP汚染について明らかにすることを目的とし、水田等の農地利用の多い広島県東広島市及び呉市を流れる黒瀬川の河川水中の被膜殻を調査し、流出実態の把握を目指した。

方 法

1 調査地点及び採取日

調査地点を図1に示す。調査地点は、黒瀬川的环境基準地点及び補助地点から選定し、上流域の和泉橋、中流域の樋ノ詰橋、下流域の芋福橋の3地点とした。

黒瀬川は、広島県沿岸部のほぼ中央に位置する流域面積238.8 km²、流路延長50.6 kmの黒瀬川水系の本流である。西条盆地、黒瀬盆地を南流し、広沖積平野から瀬戸内海に注ぐ。流域の土地利用は、緩傾斜の山林や水田等の農地利用が大半を占める[7]。

河川漂流物の採取は、田植えの時期である4月末から5月初めにかけての連休前後及び12月までの毎月末とし、2022年4月28日、5月10日、5月26日、6月30日、7月25日、8月23日、9月29日、10月25日、11月28日及び12月20日の10回行った。

2 採取方法

被膜殻を含む河川漂流物は、採取用網で10 m³前後の河川水を濾水することで、採取した。濾水は、調査地点の河川低水路内に立ち入り、河川の水面直下に採取用網を全没させた。採取用網は、前長26 cm、側長45 cm、目合1.0 mmの玉網を用いた。網内の濾水量は、採取用網の開口部中央に固定した低流速用デジタル濾水計（GO-2030R6、General Oceanics社製）のカウントから、算出した。

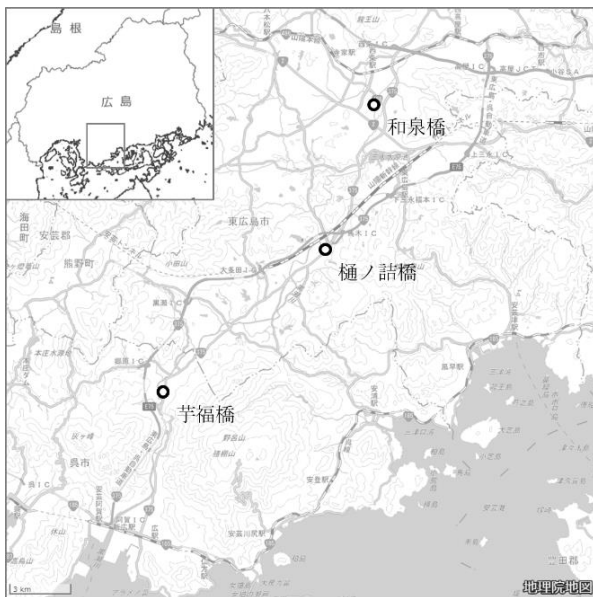


図1 黒瀬川の調査地点

3 河川漂流物の前処理

採取した河川漂流物は、目開き0.1 mmのネット上に移し、精製水で洗浄した後、室温で乾燥した。乾燥後、河川漂流物中から目視で円形の被膜殻と推定された物（以下、「被膜殻候補物」という。）を摘出した。被膜殻候補物は、被膜殻様及び被膜殻表面の有機物を分解するため、30%過酸化水素溶液30 mLを入れたビーカー内で、55℃に加温した状態で、1日間静置した。処理後、残った被膜殻候補物は、精製水で洗い、室温で乾燥した。

4 外観及び粒子径

被膜殻候補物は、デジタルマイクロスコープ（VHX-5000、(株)キーエンス製）を用いて、外観を撮影及び最大フェレー径を採寸した。

5 被膜殻の判別

被膜殻候補物は、フーリエ変換赤外分光光度計（Fourier transform infrared spectrometer, FT/IR-6600、日本分光(株)製）のATR法を用いて、赤外吸収スペクトルを取得することで、材質の同定を行った。中空の球又は球が破損した形状で、材質がプラスチックと同定されたものを被膜殻と判別した（図2）。



図2 採取された被膜殻（中空球、破片）

結 果 及 び 考 察

黒瀬川の3地点で各10回行った調査について、流速、濾水量等の項目を表1に示す。調査の結果、計116個の被膜殻が採取され、黒瀬川の河川水中を被膜殻が漂流していることが明らかとなり、水田等の農地で使用された被膜肥料由来のMPが河川に流出し、海洋プラスチック汚染の一因となっていることが示唆された。

各被膜殻の形状、長径、色及びプラスチック種別を、表2に示す。回収された中空球状の被膜殻の長径は、平均3.83 mm (2.26 - 4.97 mm) であり、すべて5 mm未満であった。材質は、ポリエチレン系、ポリウレタン系及びポリスチレン系の3種類であり、ポリエチレン系が56%、ポリウレタン系が43%と2種が大半を占めて

表1 各採取時の調査項目

水系名	調査地点	調査日	天気	気温 (℃)	水温 (℃)	流速 (cm/秒)	濾水時間 (分)	濾水量 (m ³)	水深 (cm)
黒瀬川	和泉橋	4月28日	晴	-	-	19	35	8.7	75
		5月10日	晴	24.8	23.0	10	45	8.6	53
		5月26日	曇	24.8	22.8	15	45	8.4	61
		6月30日	晴	34.5	32.2	13	55	8.5	60
		7月25日	曇	32.0	26.0	25	30	11.9	75
		8月23日	晴	31.0	31.2	29	30	12.2	74
		9月29日	曇	24.9	21.5	38	30	18.3	71
		10月25日	晴	17.6	17.8	28	45	10.7	48
		11月28日	晴	19.1	15.3	16	45	13.0	54
		12月20日	晴	9.5	8.9	17	45	10.2	55
	樋ノ詰橋	4月28日	晴	-	-	91	10	13.6	70
		5月10日	晴	24.1	21.5	70	15	12.7	70
		5月26日	曇	24.6	23.4	80	15	12.1	65
		6月30日	晴	32.3	31.0	70	25	11.5	63
		7月25日	曇	28.0	26.1	85	15	21.1	75
		8月23日	晴	34.1	30.3	73	10	11.8	72
		9月29日	曇	24.9	23.0	107	10	15.8	68
		10月25日	晴	22.5	18.5	91	15	14.1	53
		11月28日	晴	21.2	17.3	83	10	11.7	56
		12月20日	晴	11.7	9.0	56	20	14.2	65
	芋福橋	4月28日	晴	-	-	37	22	10.9	92
		5月10日	晴	21.0	19.5	15	45	13.0	75
		5月26日	曇	24.4	23.0	25	45	9.8	70
		6月30日	晴	33.0	29.2	30	25	10.1	55
		7月25日	曇	27.5	26.1	25	30	11.9	75
		8月23日	晴	33.0	29.0	18	45	11.1	112
		9月29日	曇	23.2	22.5	27	40	17.5	103
		10月25日	晴	17.5	17.3	21	40	9.6	78
		11月28日	晴	16.5	14.0	7	45	8.0	90
		12月20日	晴	8.8	6.5	11	45	7.0	98

おり、調査地点及び調査日による材質の偏りは、認められなかった。

時系列変化及び調査地点間の違いを見るため、各調査で採取された被膜殻の個数を採水量（m³）で除すことにより、個数密度（個/m³）を算出した。時系列に並べた各調査地点の個数密度を、図3及び表3に示す。上流域の和泉橋及び下流域の芋福橋の個数密度は、4月28日の0.23, 0.18個/m³から、5月10日の0.93, 0.54個/m³と増加し、5月26日に1.31, 1.53個/m³と最高値に達した後、6月30日は0.12, 0.30個/m³と減少する傾向を示した。同様の傾向は、石川県の大川及び海岸汀線の調査においても見られており、大川の河川水中の個数密度は4月23日から5月14日の間は高濃度で推移し、5月25日以降は急速に低下した[6]。海岸汀線の個数密度も、4月から6月にかけて上昇し、7月から9月にかけて徐々に低下した[6]。これらの傾向から、被膜殻は、地域によって作業時期は異なるものの、田植え前の代掻き作業時に多く流出することが考えられ、5月の高密度は代掻き作業後の流出を表している

と示唆された。一方、中流域の樋ノ詰橋の個数密度は、5月は0.00, 0.41個/m³と低く、6月に2.62個/m³の最高値となった。その後、7月に0.14個/m³と低下し、再度8月に0.93個/m³と高くなった。このことから、個数密度が高い時期が2期あり、年内で最も高い月は代掻き時期とは異なる6月であった。これらの傾向は上流域及び下流域並びに勝見らの調査報告[6]とも異なっていた。

中流域は6月に代掻き作業を行っている可能性はあるが、採取地点の樋ノ詰橋より上流には、三永水源 地堰堤への導水口、東広島浄化センターの放流口、流域面積の広い戸石川及び松板川の合流地点等が存在しており、個数密度に影響を及ぼしたと考えられた。また、他の採取地点及び採取日に見られなかった特徴として、6月は、被膜殻と共に大量のウキクサ科の植物が採取された（図4）。このことから、ウキクサ等の植物が繁茂する時期や場所は、被膜殻が水田等の農地から流出後も植物に絡まって残留又は流下が遅くなり、植物の流下と共に移行する可能性がある。河川

表2 各被膜殻の形象

調査地点	採取日	検体番号	プラスチック種別	形状	長径(mm)	色	調査地点	採取日	検体番号	プラスチック種別	形状	長径(mm)	色
和泉橋	4月28日	1	ポリエチレン (PE)	破片	6.08	白	芋福橋	4月28日	26	ポリエチレン (PE)	球	3.50	白
		2	ポリウレタン (PU)	球	3.68	白			27	ポリウレタン (PU)	球	3.78	白
	5月10日	1	ポリエチレン (PE)	球	3.61	白		7月25日	28	ポリウレタン (PU)	球	2.63	白
		2	ポリエチレン (PE)	球	4.35	白			29	ポリウレタン (PU)	球	3.15	白
		3	ポリエチレン (PE)	球	4.11	白			30	ポリウレタン (PU)	球	3.60	白
		4	ポリウレタン (PU)	球	4.16	白			1	ポリウレタン (PU)	球	4.96	白
		5	ポリエチレン (PE)	球	3.79	白			2	ポリウレタン (PU)	球	4.64	白
		6	ポリエチレン (PE)	球	3.44	白			3	ポリウレタン (PU)	球	4.49	白
		7	ポリエチレン (PE)	球	2.95	白		8月23日	1	ポリウレタン (PU)	球	3.24	白
	5月26日	8	ポリエチレン (PE)	破片	4.68	白			2	ポリエチレン (PE)	球	4.46	白
		1	ポリエチレン (PE)	球	3.81	白			3	ポリエチレン (PE)	球	3.86	白
		2	ポリエチレン (PE)	球	3.50	白			4	ポリウレタン (PU)	球	4.22	白
		3	ポリエチレン (PE)	球	3.54	白			5	ポリウレタン (PU)	球	3.50	白
		4	ポリエチレン (PE)	球	4.28	白			6	ポリウレタン (PU)	球	4.14	白
		5	ポリエチレン (PE)	球	3.43	白			7	ポリエチレン (PE)	球	3.81	白
		6	ポリエチレン (PE)	球	3.61	白			8	ポリエチレン (PE)	球	3.94	白
		7	ポリエチレン (PE)	球	4.05	白			9	ポリウレタン (PU)	球	3.21	白
		8	ポリエチレン (PE)	球	3.52	白			10	ポリウレタン (PU)	球	3.13	白
		9	ポリエチレン (PE)	球	4.77	白			11	ポリウレタン (PU)	球	4.23	白
		10	ポリエチレン (PE)	球	4.15	白		12月20日	1	ポリエチレン (PE)	球	4.36	白
	6月30日	11	ポリウレタン (PU)	球	3.23	白		4月28日	1	ポリエチレン (PE)	球	3.46	白
		1	ポリエチレン (PE)	球	4.25	白			2	ポリエチレン (PE)	球	3.75	白
	7月25日	1	ポリウレタン (PU)	球	4.68	白		5月10日	1	ポリエチレン (PE)	球	3.28	白
		2	ポリウレタン (PU)	破片	4.49	白			2	ポリエチレン (PE)	球	3.36	白
	8月23日	1	ポリエチレン (PE)	球	3.75	白			3	ポリエチレン (PE)	球	3.31	白
		2	ポリエチレン (PE)	球	4.45	白			4	ポリエチレン (PE)	球	3.83	白
	10月25日	1	ポリエチレン (PE)	球	4.36	白			5	ポリウレタン (PU)	球	4.68	白
樋ノ詰橋	4月28日	1	ポリウレタン (PU)	球	3.68	白			6	ポリエチレン (PE)	球	3.33	白
	5月26日	1	ポリウレタン (PU)	球	3.51	白		5月26日	7	ポリエチレン (PE)	球	4.30	白
		2	ポリエチレン (PE)	球	3.96	白			1	ポリエチレン (PE)	球	4.97	白
		3	ポリエチレン (PE)	球	4.59	白			2	ポリエチレン (PE)	球	4.23	白
		4	ポリエチレン (PE)	破片	3.78	白			3	ポリウレタン (PU)	球	3.67	白
	6月30日	5	ポリエチレン (PE)	破片	3.76	白			4	ポリウレタン (PU)	球	4.51	白
		1	ポリウレタン (PU)	球	4.94	白			5	ポリエチレン (PE)	球	4.82	白
		2	ポリエチレン (PE)	球	4.22	白			6	ポリエチレン (PE)	球	4.08	白
		3	ポリエチレン (PE)	球	4.42	白			7	ポリウレタン (PU)	球	3.61	白
		4	ポリウレタン (PU)	球	4.44	白			8	ポリエチレン (PE)	球	3.75	白
		5	ポリエチレン (PE)	球	3.91	白			9	ポリウレタン (PU)	球	3.27	白
		6	ポリウレタン (PU)	球	3.99	白			10	ポリエチレン (PE)	球	3.64	白
		7	ポリウレタン (PU)	球	4.31	白			11	ポリウレタン (PU)	球	3.24	白
		8	ポリウレタン (PU)	球	3.75	白			12	ポリウレタン (PU)	球	2.87	白
		9	ポリウレタン (PU)	球	3.30	白			13	ポリウレタン (PU)	球	2.95	白
		10	ポリウレタン (PU)	球	4.24	白			14	ポリウレタン (PU)	球	2.39	白
		11	ポリエチレン (PE)	球	3.99	白		6月30日	15	ポリエチレン (PE)	破片	3.67	白
		12	ポリウレタン (PU)	球	4.20	白			1	ポリエチレン (PE)	球	3.75	白
		13	ポリエチレン (PE)	球	3.48	白			2	ポリスチレン (PS)	球	2.85	白
		14	ポリウレタン (PU)	球	4.06	白			3	ポリウレタン (PU)	球	3.11	白
		15	ポリエチレン (PE)	球	4.70	白		7月25日	1	ポリエチレン (PE)	球	3.98	白
		16	ポリウレタン (PU)	球	3.72	白			2	ポリウレタン (PU)	球	3.81	白
		17	ポリウレタン (PU)	球	3.18	白		8月23日	1	ポリウレタン (PU)	球	3.61	白
		18	ポリエチレン (PE)	球	3.40	白			2	ポリウレタン (PU)	球	3.58	白
		19	ポリエチレン (PE)	球	3.11	白		9月29日	3	ポリエチレン (PE)	球	3.77	白
		20	ポリウレタン (PU)	球	3.53	白			4	ポリエチレン (PE)	球	3.92	白
		21	ポリウレタン (PU)	球	3.41	白			1	ポリエチレン (PE)	球	4.63	白
		22	ポリエチレン (PE)	球	4.22	白		10月25日	1	ポリウレタン (PU)	球	3.98	白
		23	ポリエチレン (PE)	球	4.21	白			2	ポリエチレン (PE)	球	4.63	白
		24	ポリエチレン (PE)	破片	3.88	白			3	ポリエチレン (PE)	球	3.48	白
		25	ポリウレタン (PU)	球	4.04	白			4	ポリウレタン (PU)	球	4.20	白

表3 各調査地点で採取された被膜殻の個数密度 (個/m³)

調査地点	個数密度 (個/m ³)									
	4月28日	5月10日	5月26日	6月30日	7月25日	8月23日	9月29日	10月25日	11月28日	12月20日
和泉橋	0.23	0.93	1.31	0.12	0.17	0.16	0.00	0.09	0.00	0.00
樋ノ詰橋	0.07	0.00	0.41	2.62	0.14	0.93	0.00	0.00	0.00	0.07
芋福橋	0.18	0.54	1.53	0.30	0.17	0.36	0.06	0.42	0.00	0.00

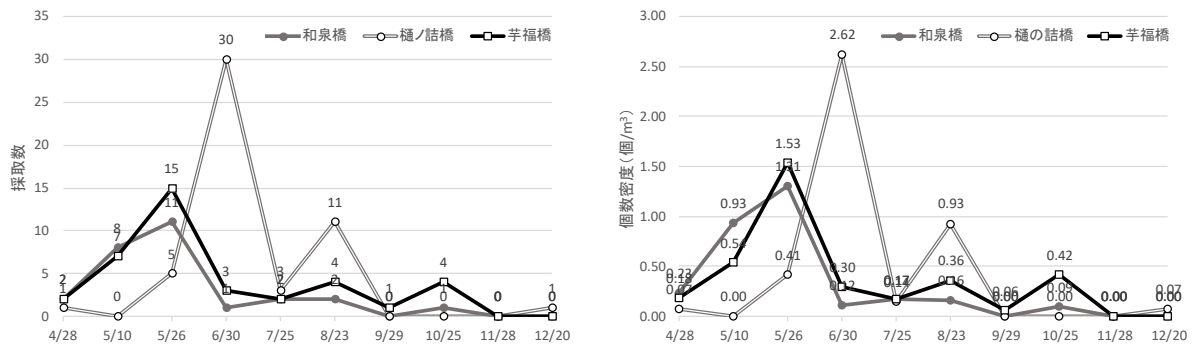


図3 各調査地点の採取数及び個数密度の時系列変化

水中の被膜殻の時系列変化や移行過程を評価する際は、同時に採取される漂流物の観察も必要と考えられた。

同調査日の上流、中流、下流の個数密度について比較を行ったが、総流量が増える川下ほど個数密度が低下していく等の一定の傾向は認められなかった。また、上流域の個数密度が高い5月に中流域の値は低いままであり、中流域の個数密度が高い6月と8月においても、下流域の値が高くなってはいなかった。このことから、被膜殻の流下速度が川岸又は植物等に保持されて緩慢になるため、上中下流域の個数密度は連動しない又は調査地点の個数密度は、周辺流域からの流出をより反映している等の可能性が考えられた。今後、より詳細に被膜殻の河川を通じた海域への移行過程や面源負荷量を推定していくためには、離散的ではない連続採取や河川水量を測定する等、更なる調査が必要と考える。



図4 6月の中流域で採取された植物

結 語

本研究では、広島県東広島市及び呉市を流れる黒瀬川において、被覆肥料由来のプラスチック被膜殻を調査することにより、MPの水田等の農地からの流出及び海洋への移行実態を明らかにした。被膜殻は5月の田植えの時期に高い個数密度を示したことから、代掻き作業時に水田等の農地から多く流出していると考えられた。一方、中流域は6月に高くなるといった異なる傾向も見られたことから、河川を通じた海域への移行過程の推定には更なる調査が必要と考えられた。

謝 辞

本研究は、広島県立総合技術研究所西部工業技術センター及び食品工業技術センターの協力の下に実施した。ここに感謝の意を表します。

文 献

- [1] Geyer R, Jambeck, JR, et al. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances Research Article. 2017, 3, e1700782.
- [2] Jambeck JR, Geyer R, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science. 2015, 347, 768–771.
- [3] McKinsey, & Company, the Ocean Conservancy. Stemming the tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean. <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/s/2022/07/full-report-stemming-the.pdf>, cited 2024-10-24.
- [4] Cusworth SJ, Davies WJ, et al. Agricultural

- fertilizers contribute substantially to microplastic concentrations in UK soils. Communications Earth & Environment. 2024, 5, 7.
- [5] 池貝隆宏, 三島聡子, 他. 相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性. 神奈川県環境科学センター研究報告. 2018, 41, 1-10.
- [6] 石川県立大学. “環境研究総合推進費 終了研究成果報告書 1RF-2001 農耕地におけるマイクロプラスチックの発生と海域への移行に関する研究” https://www.omcst.biz/suishinhi/seika/db/pdf/ended_result/1RF-2001.pdf, 参照 2023-2-10.
- [7] 広島県. “二級河川黒瀬川水系河川整備計画”. <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/1172468399474.html>, 参照 2025-01-09.