

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82114

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12363

研究課題名（和文）長江河川から流出する浮遊マイクロプラスチックの輸送過程と集積域の特定

研究課題名（英文）Transport processes of floating microplastics from the Changjiang River and identification of related accumulation areas

研究代表者

岩崎 慎介（Iwasaki, Shinsuke）

国立研究開発法人土木研究所・土木研究所（寒地土木研究所）・研究員

研究者番号：20834518

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：海洋表皮層の輸送系を組み込んだ新たな数値モデルを開発し、長江河川から流出する様々なサイズの海洋プラスチックの輸送過程を調べた。その結果、プラスチックの挙動は、そのサイズによって大きく異なることが分かった。小さなプラスチックは、従来の海流系に従って、長江河川の北東域に位置する日本周辺の海域へ輸送されるが、大きなプラスチックは、風や波の影響を受けて東シナ海や中国沿岸域に留まりやすくなることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々なサイズのプラスチックの輸送過程を通して、これまで着目されてこなかった表皮層の輸送系が、従来の海洋物理学に基づいた海流系と大きく異なっていたことを明らかにした点は、学術的に価値が高いと言える。また、この研究では、海洋表皮層を漂う物体としてプラスチックを対象としているが、流れ藻を含むニューストンであっても取り扱いがかわらないと考えられる。したがって、従前の海流情報では説明がつかない新たな海洋生物の輸送系解明にも波及すると期待されるため、社会的にも大きな意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The current study established a new numerical model incorporating the transport system of the uppermost ocean layer, and investigated transport processes of marine plastics of various sizes flowing from the Changjiang River. The results showed that the behavior of plastics varied greatly depending on their size. It was also revealed that small plastics were transported by the conventional ocean current to areas surrounding Japan to the northeast of the Changjiang River, although large plastics tended to remain in the East China Sea and the coastal areas of China, due to the influence of surface winds and ocean waves.

研究分野：海洋物理

キーワード：マイクロプラスチック ストックス・ドリフト 三次元粒子追跡モデル 長江河川 東シナ海 波浪モデル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 人為的な海ゴミの7割を占める廃プラスチックは、海岸で紫外線や熱による劣化で微細化し、再び海洋に流れていく。中でも5mm以下のプラスチック微細片(MP)は、誤食を通して容易に生態系に混入する恐れがあり、様々な海洋生物(魚類、貝類、甲殻類、動物プランクトン)から検出が確認されている(例えば、Browne et al., 2008; Boerger et al., 2010)。また、プラスチックは海洋中の残留生有機汚染物質(POPs)を吸着させる性質があるため、汚染物質を生態系に移行させる媒体となることが危惧されている。実際にMPを摂取したメダカが、肝障害を起こした実験結果も報告されている(Rochman et al., 2013)。このような背景から、近年、海洋プラスチック汚染に関する問題は、2018 G7 シャルルボワ・サミットの議題にも取り上げられるなど、国内外で政治的・社会的関心が急速に高まっている。

(2) 河川は陸域から海洋へMPを流出する主要な経路である。近年の研究報告によると、長江から海洋に流出するMPの量が、世界で最も多いことが示されている(Lebreton et al., 2017)。従来の海洋物理に基づいた海流系に従えば、長江から流出したMPは、黒潮や対馬暖流によって日本周辺の海域を浮遊あるいは通過することが予想される。事実、日本周辺海域のMP浮遊密度は世界平均より一桁多いことが報告されており(Isobe et al., 2015)、その要因の一つとして、長江河川からの大量のMP流出が挙げられる。MPは海水と比べて密度が小さいため、その多くが海洋表皮層(海面下1mより上層)を漂っている(Reisser et al., 2015)。したがって、MPの輸送系を理解する場合、本来は表皮層内で普遍的な風波による質量輸送(ストークス・ドリフト)を、従来の海流系に組み込まなければならない。実際、研究例は少ないが、瀬戸内海西部の沿岸域や日本海でのMPの輸送過程においてストークス・ドリフトの重要性が指摘されている(Isobe et al., 2014; Iwasaki et al., 2017)。しかしながら、これまでの海洋学において、表皮層の輸送系に関する知見は多くない。事実、現在の海洋学分野で幅広く利用されている海洋循環モデルや再解析プロダクトの海流系に、表皮層の輸送系は考慮されていない。このような背景から、長江河口域は世界で最もMP流出量が多いにもかかわらず、その周辺海域でMPの輸送過程を数値モデルからアプローチした研究例はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来の海流系に表皮層の輸送系を加えた数値モデルを開発し、長江から海洋に流出した海面表皮層を浮遊するMPの輸送過程を明らかにすることで、MPが集積する領域(即ち、MP環境汚染の進行が危惧される場所)を特定することである。更に、MPよりも大きなサイズ(メソやマクロ)のプラスチックにも着目し、そのサイズによる挙動の違いを調べた。

3. 研究の方法

(1) マイアミ大学で開発された波浪モデル(UMWM; Donelan et al., 2012)に人工衛星の海上風(ASCAT; Kako et al., 2011)を与えることで、水深0から30m(1m毎)までのストークス・ドリフトを1日毎に算出した。海洋再解析データ(HYCOM; Chassignet et al., 2007)の流速データに波浪モデルから算出したストークス・ドリフトを加え、粒子追跡モデルに利用した。長江の河口付近(31°N, 122.5°E; 図1)から、6種類のサイズ(10.0, 8.0, 6.0, 1.0, 0.5, 0.3 mm)の粒子を投入した。ここでは、10.0, 8.0, 6.0mmをメソサイズとし、1.0, 0.5, 0.3mmをマイクロサイズとする。全ての粒子サイズの投入個数は、長江の河口流量(Zhu et al., 2019)に従って決めた。計算は2014年の1年間のデータを使用し、10年間の計算を行った。

(2) 三次元の計算に加え、二次元の計算も行った。二次元の計算では3つの実験を行なっている。1つは、HYCOMの流速のみで駆動したもので、2つ目は、HYCOMとストークス・ドリフトで計算したものである。3つ目は、大型のプラスチック(マクロプラスチック)を想定した実験として、HYCOMの流速にストークス・ドリフトと風圧流を加えた計算も行なった。風圧流を決定する際に用いる投影面積の比は1から1/300の間で変わる乱数を与えている。

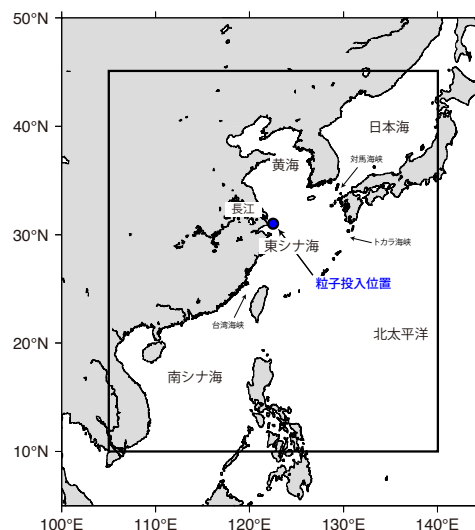


図1：モデル領域と粒子投入位置

4. 研究成果

(1) モデル粒子の空間分布を見ると、その多くが東シナ海を浮遊しているが、一部が対馬暖流や黒潮によって日本海や太平洋に流されている(図2a)。また、その分布は季節によって顕著に

異なる。夏季は、太平洋や日本海に加えて、黄海への移動が見られる (図 2b)。一方、冬季は、集積域が南にシフトし、一部が南シナ海の北部に移動している (図 2c)。

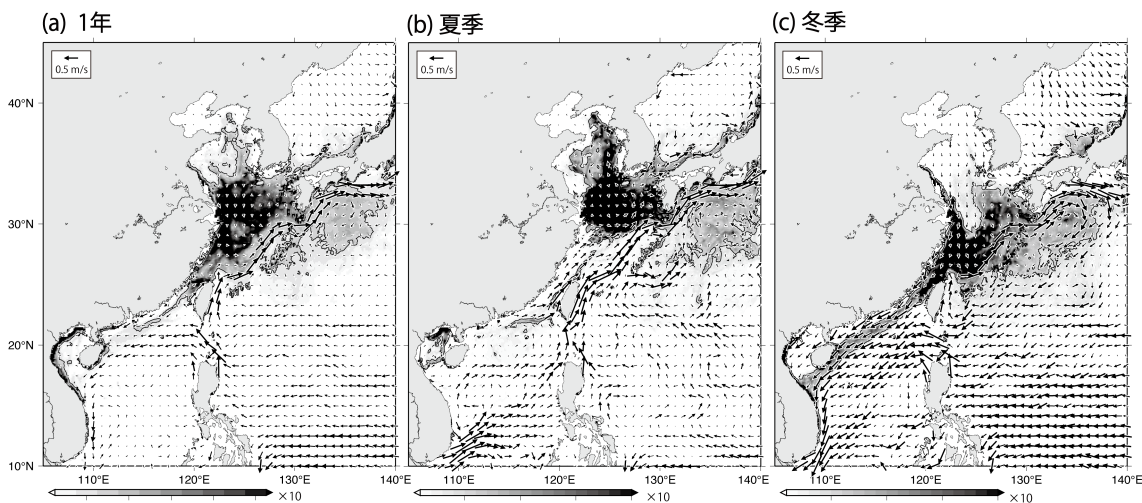


図 2 : モデル粒子(陰影)と海面流速(ベクトル)の空間分布。

(a) 1年, (b) 夏季(6-8月), (c) 冬季(12-2月)

(2) モデル結果の妥当性を検証するため、観測結果との比較を行なった。観測結果の詳細は Isobe et al. (2015) や Iwasaki et al. (2017) を参照頂きたい。観測との比較を行う際、モデル粒子は観測と整合させるため、1m より浅い水深のデータを使用している。東シナ海や四国沖、日本海の沿岸分枝に沿った領域で、高い浮遊濃度が確認でき、モデルの結果とも一致していた。

(3) さらに、モデル粒子のサイズによる輸送過程の違いを調べた。粒子のサイズが大きくなるにつれて上昇速度が大きくなる。そのため、サイズの大きい粒子は、小さい粒子よりも海面付近を浮遊する。結果として、大きい粒子はよりストークス・ドリフトの影響を受けやすくなる。メソサイズの粒子は、マイクロサイズの粒子に比べて空間的な広がりが大きく、黄海や東シナ海南部、南シナ海北部にまで移動していることが分かる (図 3)。メソサイズの粒子の東シナ海南部への移動は 10 月あたりから確認でき、黄海への移動は 5 月に大きいことが分かった。この東シナ海南部への移動は、冬季北東季節風による南西向きストークス・ドリフトによることが示された。また、黄海への移動は、5-6 月に黄海・東シナ海に張り出す高気圧による北向きのストークス・ドリフトが要因であることが明らかとなった。この高気圧は“黄海高気圧”と呼ばれるもので、この時期に頻繁に現れることが知られている (Zhang et al., 2009)。

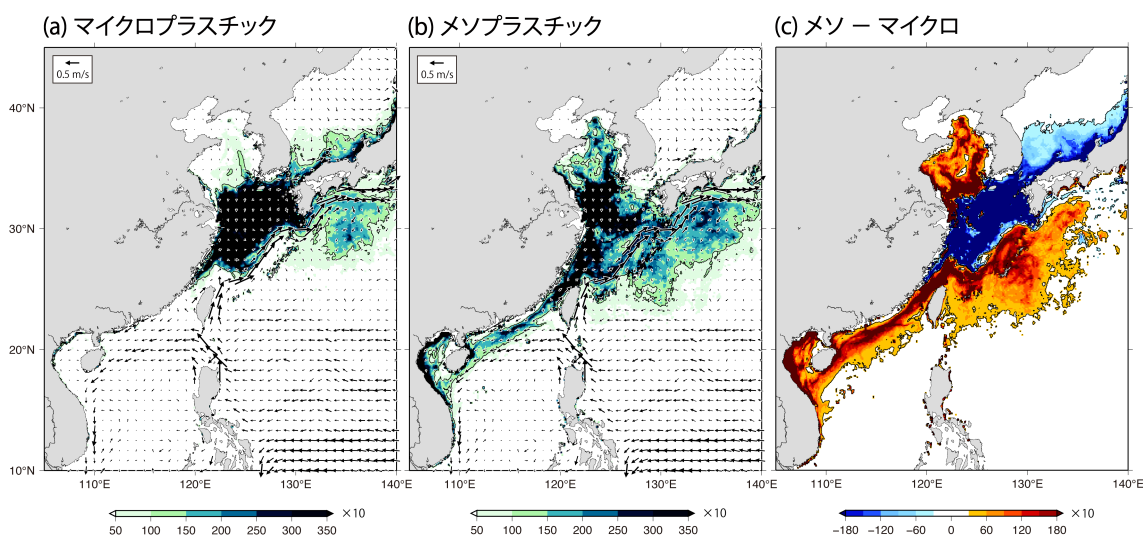


図 3 : (a) マイクロサイズと (b) メソサイズのモデル粒子数の空間分布とその差 (c)。期間は 1 年間。

(4) 二次元の数値実験により、ストークス・ドリフトなしの実験は、マイクロサイズの分布とよく一致し、ストークス・ドリフトありの実験は、メソサイズの分布とよく一致していた。また、両者の差の分布も、よく一致していた。さらに風圧流を考慮した実験は、HYCOM+ストークス・ドリフトのものとよく似ているが、その差はより顕著であった。二次元の実験結果の時間変化を確認した結果、HYCOM+ストークス・ドリフトの結果は、メソサイズの結果と一致し、HYCOM

のみの結果は、マイクロサイズの結果と一致している。また、風圧流を考慮した実験は、風の影響が大きいため、10月あたりの東シナ海南部への移動や、5月からの黄海への移動がより顕著になる。

(5) 以上の結果から、図4に本研究で明らかとなった各サイズのプラスチックの輸送経路を示す。MPは従来の海流系に従い、対馬暖流や黒潮により日本海や太平洋へ運ばれていく(図4a)。また、メソプラスチックは、黒潮によって太平洋へと運ばれるものもあるが、一部が冬季季節風による南西向きストークス・ドリフトや5月の黄海高気圧による北向きのストークス・ドリフトの影響によって、南シナ海北部や黄海に運ばれる(図4b)。さらに大型のプラスチックは風圧流の影響により、メソプラスチックよりも多く、南シナ海北部や黄海に運ばれる(図4c)。大型のプラスチックは紫外線や日夜の気温差、物理的な刺激によって微細化する。大型のプラスチックは、風圧流やストークス・ドリフトの影響によって、東シナ海周辺海域を浮遊するが(図4c)、微細化によって風の影響を受けにくくなり、従来の海流系に従い日本海や太平洋へ運ばれやすくなると考えられる(図4a)。

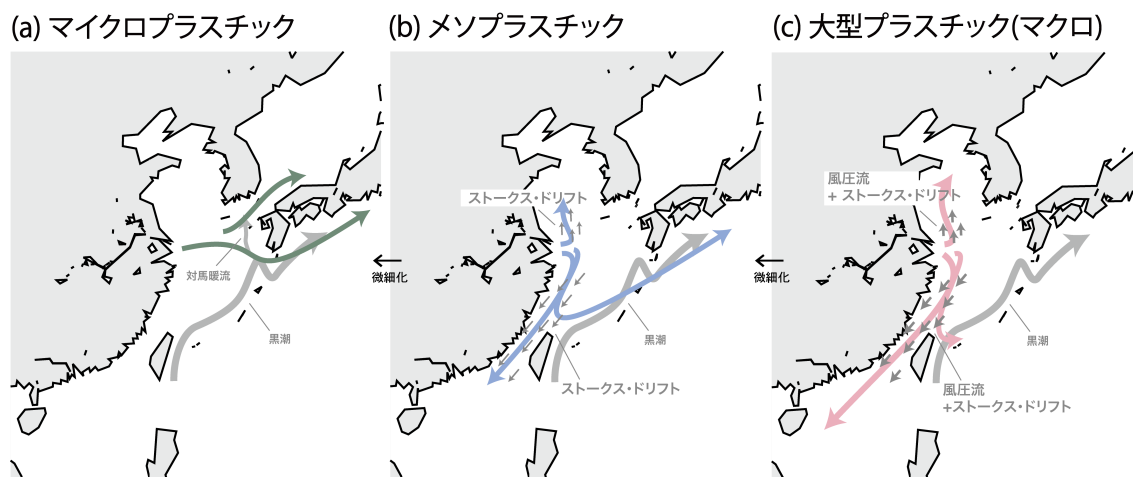


図4 : (a)マイクロプラスチック、(b)メソプラスチック、(c)大型プラスチックの輸送過程の模式図。

<引用文献>

- ① Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson, R.C., 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 42, 5026–5031.
- ② Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L., Moore, C.J., 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 2275–2278.
- ③ Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., The, S.J., 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* 3, 3263.
- ④ Lebreton, L.C.M., Van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017. River plastic emissions to the world's ocean. *Nat. Comm.* 8, 15611.
- ⑤ Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T., Iwasaki, S., 2015. East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics. *Mar. Pollut. Bull.* 101, 618–623.
- ⑥ Reisser, J., Slat, B., Noble, K., du Plessis, K., Epp, M., Proietti M., de Sonnevile, J., Becker, T., Pattiaratchi, C., 2015. The vertical distribution of buoyant plastics at sea: an observational study in the North Atlantic Gyre. *Biogeosciences* 12, 1249–1256.
- ⑦ Isobe, A., Kubo, K., Tamura, Y., Kako, S., Nakashima, E., Fujii, N., 2014. Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 89, 324–330.
- ⑧ Iwasaki, S., Isobe, A., Kako, S., Uchida, K., Tokai, T., 2017. Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: a numerical model approach in the Sea of Japan. 121, 85–96.
- ⑨ Donelan, M.A., Curcic, M., Chen, S.S., Magnusson, A.K., 2012. Modeling waves and wind stress. *J. Geophys. Res.* 117, C00J23.
- ⑩ Kako, S., Isobe, A., Kubota, M., 2011. High-resolution ASCAT wind vector dataset gridded by applying an optimum interpolation method in the global ocean. *J. Geophys. Res.* 116, D23107.
- ⑪ Chassignet, E.P. et al., 2007. The HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) data assimilative system. *J. Mar. Sys.* 65, 60–83.
- ⑫ Zhu, J., Wu, H., Li, L., Qiu, C., 2019. Changjiang Estuary. *Sediment Dynamics of Chinese Muddy Coasts and Estuaries.* 4, 51–75.
- ⑬ Zhang, S.P., Xie, S.P., Liu, Q.Y., Yang, Y.Q., Wang, X.G., Ren Z.P., 2009. Seasonal variations of Yellow Sea Fog: Observations and Mechanisms. *J. Climate* 22, 6758–6772.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Atsuhiko Isobe and Shinsuke Iwasaki	4. 巻 825
2. 論文標題 The fate of missing ocean plastics: Are they just a marine environmental problem?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 153935~153935
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2022.153935	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 岩崎慎介
2. 発表標題 A numerical approach to determining the behavior of microplastics and mesoplastics from the Changing River in the East Asian marginal seas
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩崎慎介
2. 発表標題 長江河川から流出する海洋プラスチックの輸送過程
3. 学会等名 日本海洋学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎慎介
2. 発表標題 長江河川から流出する海洋プラスチックの輸送プロセス
3. 学会等名 2021年度水産海洋学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------