

路肩のプラスチック片堆積状況に対する 近傍の発生源及び累積降雨量の影響

三島 聰子^{1,2)}, 中山 駿一³⁾, 二瓶 泰雄⁴⁾

¹⁾ 神奈川県湘南地域県政総合センター (〒254-0073 平塚市西八幡1-3-1)

²⁾ 元 神奈川県環境科学センター (〒254-0014 平塚市四之宮1-3-39)

³⁾ 神奈川県環境科学センター (〒254-0014 平塚市四之宮1-3-39)

⁴⁾ 東京理科大学理工学部土木工学科 (〒278-8510 野田市山崎2641)

[2022年10月28日受付, 2023年2月15日受理]

Effects of Cumulative Rainfall Amount and Nearby Sources on Plastic Pieces on the Shoulder

Satoko MISHIMA^{1,2)}, Shunichi NAKAYAMA³⁾ and Yasuo NIHEI⁴⁾

¹⁾ Shonan Region Prefectural Administration Center, Kanagawa Prefectural Government
(1-3-1 Nishiyawata, Hiratsuka 254-0073)

²⁾ Former Kanagawa Environmental Research Center
(1-3-39 Shinomiya, Hiratsuka 254-0014)

³⁾ Kanagawa Environmental Research Center
(1-3-39 Shinomiya, Hiratsuka 254-0014)

⁴⁾ Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science
(2641 Yamazaki, Noda 278-8510)

[Received October 28, 2022; Accepted February 15, 2023]

Summary

We investigated the side of parking lots, garbage collection points and house wall to understand the source of plastic pieces. The survey was conducted approximately monthly from Apr. 2020 to Feb. 2021 with the aim of clarifying detailed rainfall variation in the density of plastic pieces on the shoulder. The discharge coefficient of gravel is 0.30 to 0.70, lower than that of asphalt, 0.70 to 0.95. As the plastic pieces on the gravel surface could be hard to be washed away and easy to be accumulated, the mass of plastic pieces flowing into the side was larger than that flowing out. PE, PP, PS, PET and PVC were predominant among the found polymer materials (43–66% by mass). The size corresponding to the cumulative ratio of 50% the plastic pieces on the side of house wall was smaller than that on the others. On the sides of house wall that was not near the plastic source, the plastic pieces could be weathered to fragment into smaller pieces than on the others. The number density of plastic pieces scattered on the side of garbage collection point was affected by the structure. It was found that the behavior of plastic load was complicatedly influenced by land properties, uses and rainfall.

Key words: plastic pieces, parking lot, garbage collection point, cumulative rain amount, land properties

1. はじめに

マイクロプラスチック (MP) は、近年、海洋ごみ問題の一つとして、世界的に注目されており¹⁻⁹⁾、特に 5 mm 未満のプラスチックの総称であるマイクロプラスチック (MP)⁹⁾ が注目されている。魚類による MP の摂食も確認^{10,11)}されており、海洋生態系全体に MP 汚染が拡大し、ダメージを与える⁷⁾ことが懸念されている。MP は、

製造時において有害物質が添加されていることもあり、また、海洋環境などにおいて有害物質が吸着し¹²⁻¹⁴⁾、海面に浮いて遠隔地に輸送する働きがあることが明らかにされている¹²⁻¹⁴⁾。MP は、一次 MP と二次 MP に大別され、一次 MP は、樹脂ペレットや化粧品中のマイクロビーズなどがあり、二次 MP は、より大きなプラスチック製品が断片化と風化によって生成されたものである⁹⁾。世界的に、毎年 4 億トン以上¹⁵⁾、日本では、毎年 1 千万トン以上のプラスチックが生産されている¹⁶⁾。その一部は環境に排出され、道路排水や川によって海に流されている。MP は、一旦海洋に流れ出ると回収は事実上困難であるため、海に流出する前に河川や陸域での MP 発生・流出抑制策を講じることが必要となる。また、5 mm 未満の MP だ



この記事はクリエイティブ・コモンズ [表示-非営利-
改変禁止4.0国際] ライセンスの下に提供されています。

けでなく、その源となる 5 mm 以上のメソプラスチック及び 5 cm 以上のマクロプラスチックについても、対策していく必要がある。

MP の汚染状況に関する調査研究は海洋において先行して進んでいる²⁻⁷⁾。河川は、プラスチックごみが海洋に流出する主なルートであるので¹⁷⁻²²⁾、最近では、河川の MP 汚染状況に関する調査が進められており^{17, 21-27)}、人口密度が高い都市部ほど河川の MP 密度が増加していることなどが指摘され^{22, 26)}、さらに、陸域から海域へのプラスチック流出量の見積も行わされており、地球規模全体の推定^{18, 20, 21)}だけでなく、日本国内の詳細なプラスチック流出マップ²⁶⁾も作成されている。

MP の発生源を解明し、対策を講じる上では、道路堆積物であるノンポイント汚染源について調査するは重要で、道路など陸域における MP の発生源や²⁸⁻³²⁾、雨天時の道路排水³³⁾などが調査されている。著者らは、前報³²⁾において、回収率が良好であった 1 mm 以上の MP、メソプラスチック及びマクロプラスチック（以下、プラスチック片と称す）を対象とし、神奈川県引地川流域（道路の路肩）のプラスチック片の堆積状況を調査した。2019年 2月から2020年 1月の間で 4回の調査であったが、先行降雨量が大きいほど道路上に堆積するプラスチック片質量密度が減少する傾向が見られた。本研究では、1 mm 以上のプラスチック片を対象として、路肩のプラスチック片堆積状況に対する累積降雨量の影響を明らかにするために、時間解像度を前回より細かくした現地調査を実施した。調査は2020 年の 4月から2021年 2月まで、約 1か月ごとに10回行った。また、前報³²⁾により用途地域間の路肩におけるプラスチック片数密度と質量密度は、各々商業、住居地域が有意に大きく、その要因にプラスチック片サイズ分布が影響していることが示され、住居地域における重点的なプラスチックごみ削減対策の立案・実施が有用であることが示唆された。これらのプラスチック片散乱場所の近傍の土地の用途及び構造を比較することが重要であるが、まだ検討事例は非常に少ない。本研究では、累積降雨量の影響にあわせて、採取場所脇の土地の用途及び構造によるプラスチック片の堆積密度の比較をし、影響を明らかにした。

2. 方法

2.1 試料採取と前処理

前報³²⁾の調査から、住居地域における重点的なプラスチックごみ削減が重要な対策の 1つであることがわかった。住居地域には、個人宅や集合住宅等の住居地、学校等の公共施設、駐車場、公園・緑地などがあるが、本研究では、その中で、集積されたプラスチックごみに起因するプラスチック片があると考えられるごみ集積場、落とされたなどしたプラスチックごみが車両の通行により物理的に碎片化し、流出しやすくなっている可能性が考えられる駐車場について、その脇の路肩を試料採取地点とした。また、すぐ脇が堀となっていたり、何らかの用途で使用されているスペースが脇にない路肩も調査し、ごみ集積場及び駐車場脇と比較した。Fig. 1 に示した住居地域内で、ごみ集積場脇の 4 地点、駐車場脇の 2 地点、住居地の堀脇の 1 地点を調査した。本調査地域は、前報³²⁾における円行地域とその周辺である。

加えて、駐車場やごみ集積場については、その構造が、脇の路肩のプラスチック片の量に影響を与える可能性があると考え、駐車場及びごみ集積場の構造によるプラスチック片密度の比較についても行った。調査した地点及び調査日を Table 1 に、地点の模式図を Fig. 2 に示す。駐車場は、表面がアスファルトで覆われた駐車場-1 と表面が砂利で覆われた駐車場-2 の 2 地点を選んだ。地表面の種類別の流出係数は、舗装が 0.70~0.95³⁴⁾、砂利が 0.30~0.70³⁴⁾である。表面が砂利で覆われた駐車場は土に雨水がしみこみやすいなど、アス

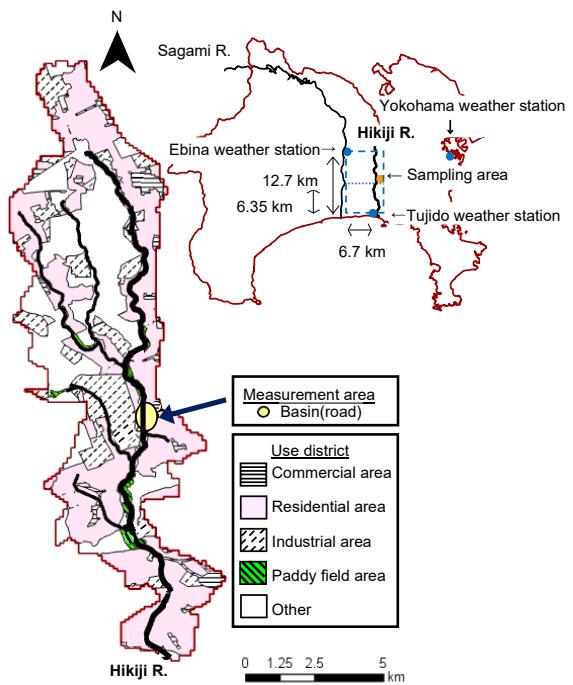


Fig. 1 Sampling area in this study

ファルト舗装の駐車場より表面を雨水が流れにくいと考えられる。ごみ集積場については、構造が違い、プラスチック片流出に差がある可能性が予想され、ごみの収集品目のカレンダーが同じ場所を 4 地点選んだ。これらごみ集積場脇の 4 地点、駐車場脇の 2 地点、住居地の堀脇の 1 地点は、できる限り近くなるように選定し、半径 1 km 以内に収まった。ごみ集積場 4 地点とも 20戸未満の集合住宅のごみ集積場で、ケージの囲いやコンテナ等の箱にごみを集積することになっていた。ごみ集積場-1 は、ブロック堀で可燃ごみ及び容器包装プラスチックが 3 方向を囲われていたが、道路に面した部分に堀はなかった。ごみ集積場-2 は、路肩より、50 cm 高い場所にあり、堀の囲いはなく、プラスチック片が路肩に落ちやすくなっていた。ごみ集積場-3 は、ごみ収集容器の上にカラス除けネットが掛けたが、ごみ収集容器は、堀のすぐ脇に設置しており、道路にプラスチック片がこぼれやすいと考えられた。また、ごみ集積場-4 は、四方がブロック堀に囲まれた形になっており、道路に面した部分の半分だけが開いていて、ブロック堀の中の、0.8 m ほど奥まったところにごみを集積するケージの囲いやコンテナ等の箱があり、プラスチック片が路肩に散らばりにくくなっていた。ごみの収集品目は、可燃ごみ、プラスチック製容器包装、ペットボトル、商品プラスチック、ビン、カン・なべ類、その他資源等に分別され、指定された収集日に集積・回収されるが、本研究では、Table 1 に示したように、可燃ごみ、プラスチック製容器包装、ペットボトル、商品プラスチック、ビン、カン・なべ類の収集日及び収集のない日に調査した。また、これらの比較対照として、すぐ脇が堀となっていたり、何らかの用途で使用されているスペースが脇にない路肩の比較をおこなった。本調査は、2020年の 4月から2021年 2月まで、約 1か月ごとに 10回調査し、その年内変動についても把握した。路面部の採取地点については、著者らの路面部の塵埃質量の分布の測定により、道路の中でも路肩部には塵埃堆積量が多いという傾向^{35, 36)}が得られている。これによりプラスチック片の堆積量も多いと想像し、路肩を対象とした調査を実施した。各地点の路肩では、2 m × 0.2 m (= 0.4 m²) の範囲にて堆積している塵埃を採取した。コンタミネーション防止のため、採取用具に黒シグの毛のホウキ及びトタン製チリトリ

Table 1 Detail of sampling points, schedules and rain amounts

| Land use | Collection items | 2020 | | | | | | | | 2021 | | Total number of samplings |
|---|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|
| | | 15-Apr. (Wed.) | 18-May. (Mon.) | 18-Jun. (Thu.) | 21-Jul. (Tue.) | 4-Sept. (Fri.) | 21-Oct. (Wed.) | 19-Nov. (Tue.) | 25-Dec. (Fri.) | 13-Jan. (Wed.) | 22-Feb. (Mon.) | |
| House wall | Plastic wares and wrappings | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 10 |
| Parking 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 10 |
| Parking 2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 10 |
| Garbage collection point 1 (for 10 houses) | Plastic products | | | | | | | | | | | 10 |
| Garbage collection point 2 (for 6 houses) | PET bottles | | | | | | | | | | | 10 |
| Garbage collection point 3 (for 5 houses) | ○ | | | | | | | | | | | 10 |
| Garbage collection point 4 (for 14 houses) | ○ | | | | | | | | | | | 10 |
| Cumulative rain amount (mm) | Ebina | 174 | 41 | 59 | 293 | 23 | 192.5 | 6.5 | 0 | 9.5 | 59.5 | |
| | Tsujido | 124 | 35.5 | 66 | 210.5 | 34 | 181 | 3 | 0 | 11 | 94 | |
| | Average | 149 | 38.3 | 62.5 | 251.8 | 28.5 | 186.8 | 4.8 | 0 | 10.3 | 76.8 | |
| Maximum one hour precipitation (mm) before sampling day (Average of Ebina and Tujido data) | 18 days before | 4.5 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17 days before | 7 | 0 | 3 | 11 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16 days before | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| | 15 days before | 0 | 0 | 0 | 8.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14 days before | 6 | 1.5 | 0 | 0.5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 5.5 | 0 | |
| | 13 days before | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12 days before | 0 | 10.5 | 0 | 8.5 | 5.5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11 days before | 0 | 1 | 0 | 1.5 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10 days before | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9 days before | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8 days before | 0 | 0.5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7 days before | 0 | 0.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | |
| | 6 days before | 0 | 0 | 7 | 1.5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 5 days before | 0 | 0 | 9 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 4 days before | 0 | 0 | 0.5 | 7.5 | 0.5 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 3 days before | 1 | 0 | 0 | 7.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 2 days before | 10.5 | 4 | 0 | 0 | 0.5 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1 day before | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 12.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | |

○ : Sampling was done

を使用し、エリア毎に採取用具を交換した。また、採取時には試料が飛散しないよう、チリトリに履き入れるまでホウキの毛を路面から離さないように静かに履き入れた。プラスチック片の分析の前処理は、採取した堆積物からプラスチックと目視で推測されるもの(以降、プラスチック候補物と称す)をルーペで探してピンセットで取り出し、残った採取物に関しては、水道水を加えて攪拌し、その後、6時間静置させ、水表面に浮いたものからプラスチック候補物をピンセットで採取した。プラスチック候補物は、実体顕微鏡を使用し、長軸長さと形状を確認し、天然物であると判明したものを除去した。前処理の詳細については前報³²⁾を参照されたい。前報³²⁾では、回収率も試験した。比重が1より小さいPE、比重が1より大きいPVC及びPETを試験した。1mm以上の大きさのプラスチック片の回収率の平均値は、PEが96.8%、PVCが98.4%、PETが94.1%、変動係数(RSD)はPE、PVC、PETともに2.8%以内であり、PVC及びPETについては、ピンセットにより回収したもので、浮上回収できたものはなかった。1mm未満の大きさのプラスチック片の回収率は70%に満たなかった。また、プランク試験では纖維が確認された。1個ずつ実体顕微鏡を使用して確認し、1mm以上ならばピンセットで見つけることができる本方法で、PE、PVC、PET以外の未検証のポリマーにも有効と考えられた。本研究においても、前報³²⁾と同様に、目視判別が可能であり、回収率の精度も高い1mm以上ののみのプラスチック片で、かつ纖維を除いたものを調査対象とした。

2.2 プラスチック片の材質及び形態の分析方法

路肩堆積物から抽出したプラスチック候補物の分析は前報³²⁾に示したとおりに行なった。1個ずつ、実体顕微鏡(OLYMPUS製SZ61)を使用して長軸長さと形状を確認し、紙や砂、植物、虫の一部など

天然物であると判明したものを除去した。残ったものをフーリエ変換赤外分光光度計(FT/IR-4600 TGS検出器、日本分光(株)製)のATR法による赤外吸収スペクトルを測定して材質を判定した。材質判定時には、KnowItAllサドラー・スペクトルデータベースのスタンダード及びヒュメルポリマーライブリ(Bio-Rad Laboratories製)及び高分子ライブリ(日本分光(株)製)を使用し、ヒット率70%以上でポリマー材質を判定した。また、ヒット率50-70%に関しては、計測したスペクトルのピークが既知ポリマーの特徴的なピーク波数と一致する場合は、その判定結果を採用した。それ以外の場合には、鮮やかな色のものや明瞭なピークがでているがセルロースやたんぱく質と一致しないものについては、材質不明ポリマーとして「その他」に分類した。

判定した材質のうち主なものは、PE、PP、PS、PET、PVC、PE-PP共重合体、エチレーン-酢酸ビニル共重合体(EVA)、タバコフィルターのセルロースアセテート、ナイロンに加えて、路上で標識として使われている塗料があった。塗料については、サンプリング地点周辺の路面に塗布しているものと目視で同じと判断できるものも塗料とした。区分したプラスチックは、材質毎に質量を測った。得られたプラスチック片の個数と質量を集計し、採取面積で除すことにより、プラスチック片数密度・質量密度を算出した。

2.3 データ解析

上記のデータを用いて、①プラスチック片堆積状況に対する累積降雨量の影響及び②路肩のプラスチック片の発生源による材質及びサイズの特徴を把握し、プラスチック片堆積状況に対する近傍の発生源の影響の検討を行った。①については、路肩に堆積したプラスチック片の密度と試料採取日間の累積降雨量の関係について回帰分

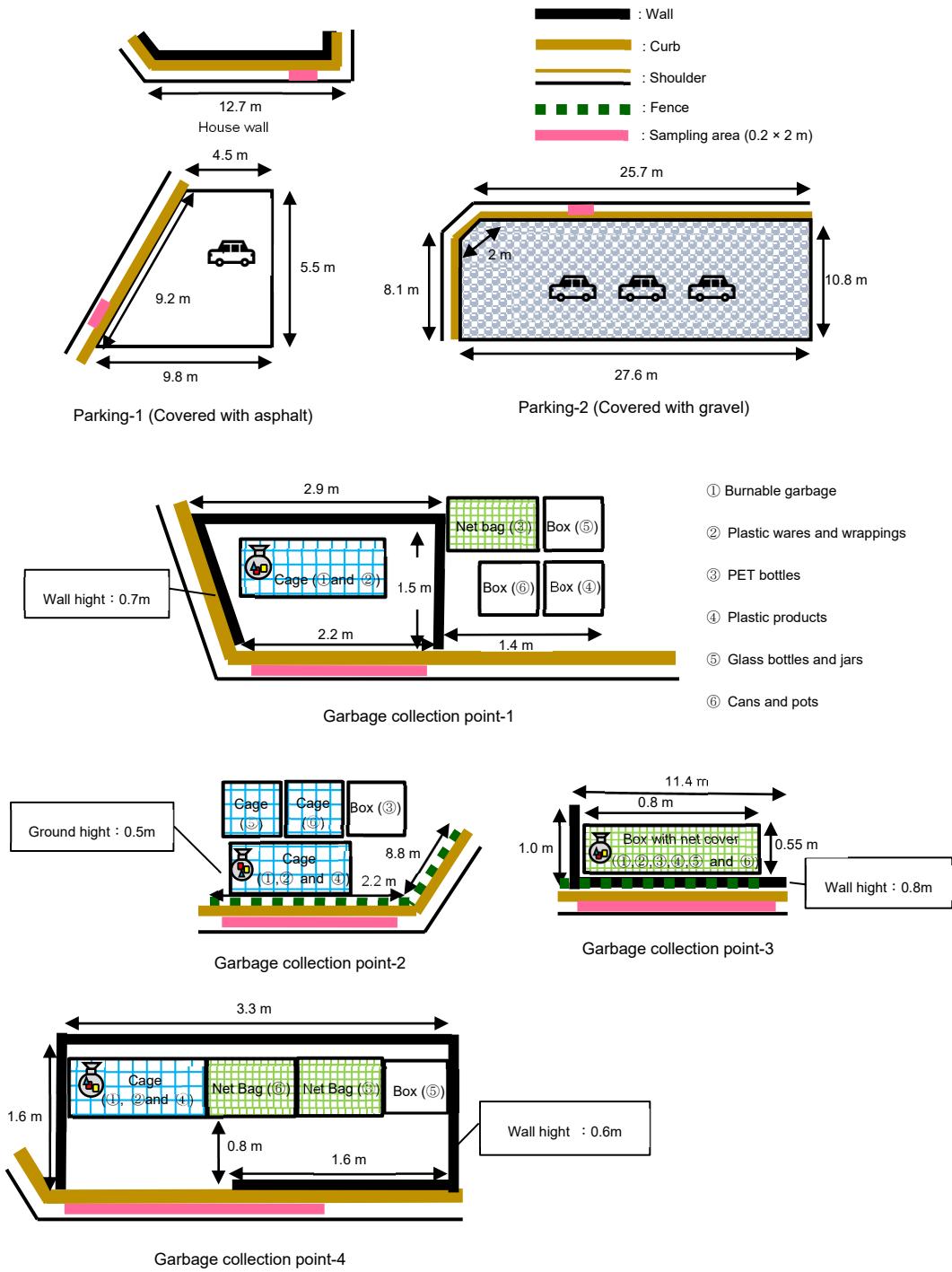


Fig. 2 Pattern diagram of sampling points

析及び100 mm以上累積降雨量とそれ未満でプラスチック片質量密度分け、ブルンナー・ムンセルの有意差検定をすることにより考察した。降雨量は、Fig. 1に示すような藤沢市辻堂西海岸にある気象庁の辻堂観測所と海老名市中新田にある気象庁の海老名観測所の及び本研究における試料採取地域を含む縦12.7 km、横6.7 kmの長方形の地域の平均降雨量をティーセン法³⁷⁾により求めた。辻堂観測所のデータに縦6.35 km、横6.7 kmの面積をかけたものと、海老名観測所のデータに縦6.35 km、横6.7 kmの面積をかけたものを合計し、全体の面積で除した値を使用した。辻堂観測所及び海老名観測所についての調査日先行18日の累積降雨量をTable 1及びFig. 3(d1)に示した。両観測所の累積降雨量は、同じように年内変動し

ており、回帰分析の結果、直線の近似式に関する決定係数 R^2 は0.934と、正の相関関係が見られたので、辻堂観測所と海老名観測所のデータを用いて平均を求めた。本研究では、試料採取日前数日間の断続的な累積降雨量（以降、累積降雨量と称す）を求めた。降雨量の累積期間については、試料採取日の2020年の12月25日と2021年1月13日の間が最も短く18日間のさかのぼりが可能なため、18日とし、試料採取日からさかのぼって18日間の辻堂観測所と海老名観測所の降雨量の平均値を累積した。②については、10回の調査結果を住居地等の塀脇・ごみ集積場脇・駐車場脇に分け、材質ごとの質量密度の割合及びプラスチック片の長軸サイズに関する累計加積曲線を作成することにより考察した。

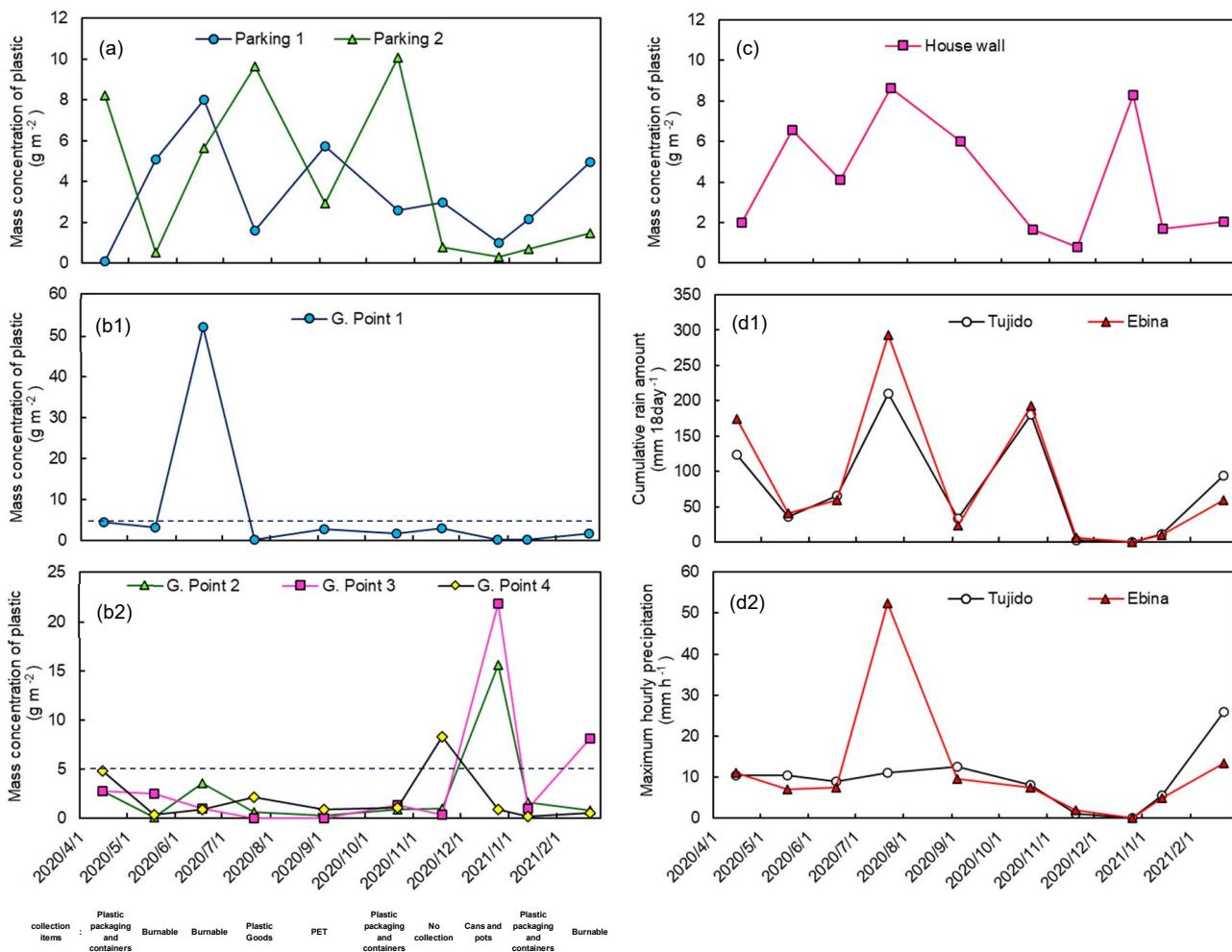


Fig. 3 Annual variation in mass density of plastic pieces on the sides of parking, garbage collection points and house wall

3. 結果及び考察

3.1 路肩堆積物中のプラスチック片密度と年内変動

駐車場脇2地点、ごみ集積場脇4地点及び住居地の堀脇1地点各地点のプラスチック片密度の年内変動の比較を行った。2020年の4月から2021年2月まで、約1か月ごとに10回採取されたプラスチック片の質量密度の年内変動及び採取日の収集品目をFig. 3に示す。ここでは、ごみ集積場脇4地点・駐車場脇2地点・住居地の堀脇1地点のプラスチック片質量密度及び調査日先行18日の累積降雨量及び累積降雨期間中の最大1時間降水量を表示している。各地点のプラスチック片密度は、平均的に数 $g m^{-2}$ であった。市街地面源負荷の時間変動特性は、一般に先行降雨状況の影響を強く受ける^{35,36}。辻堂観測所及び海老名観測所についての調査日先行18日の累積降雨量及び累積降雨期間中の日ごとの最大1時間降水量については、Table 1にも示した。

駐車場脇2地点をFig. 3(a)に示す。表面がアスファルトで覆われた駐車場-1脇及び表面が砂利で覆われた駐車場-2脇の両方とも春夏秋冬の季節変動の影響は見られなかったが、Fig. 3(d1)に示す試料採取日前の18日間の累積降雨量と比較したところ、駐車場-2脇のプラスチック片質量密度と累積降雨量が相関している可能性がある一方で、駐車場-1脇については逆位相になっている可能性があった。Fig. 3(d2)に示す最大1時間降水量については、 $10 mm h^{-2}$ 以上の雨の場合、駐車場-1脇及び駐車場-2脇の両方ともプラスチック片質量密度が $4 g m^{-2}$ 以上の場合と未満の場合とあり、影響が明確でな

かった。ごみ集積場脇4地点についてごみ集積場-1をFig. 3(b1)に、ごみ集積場-2、ごみ集積場-3及びごみ集積場-4をFig. 3(b2)に示す。ごみ集積場脇4地点とも、季節変動、累積降雨量及び最大1時間降水量の影響よりも、サンプリング地点、サンプリングした日の影響が大きいと考えた。住居地の堀（Fig. 3(c)）についても、季節変動の影響は見られず、累積降雨量や最大1時間降水量の影響も明確でなかった。5 $g m^{-2}$ 以上となったのは、ごみ集積場-1脇の6月18日の可燃及びビンの収集日とごみ集積場-4の11月19日の収集なしの日と、ごみ集積場-2とごみ集積場-3の12月25日のカンの日とごみ集積場-3の2月22日可燃及びビンの収集日であり、収集品目の影響ではなく、他の要因で落ちていた可能性も考えられた。

本研究で採取した7地点は、同日採取を十回行っているが、同じ日に試料を採取していても場所によって変動の傾向や幅にも違いがあると考えられた。プラスチック片質量密度の平均値±標準偏差は、駐車場-1脇が $3.41 \pm 2.46 g m^{-2}$ 、駐車場-2脇が $4.02 \pm 4.00 g m^{-2}$ 、ごみ集積場-1脇が $6.94 \pm 15.89 g m^{-2}$ 、ごみ集積場-2脇が $2.72 \pm 4.66 g m^{-2}$ 、ごみ集積場-3脇が $3.90 \pm 6.73 g m^{-2}$ 、ごみ集積場-4脇が $1.74 \pm 2.39 g m^{-2}$ 、住居地の堀脇が $4.18 \pm 2.97 g m^{-2}$ と各地点とも変動が大きかった。プラスチック片質量密度の変動の要因を検討するため、累積降雨量の影響については相関図により解析し、各地点のプラスチック片の材質とサイズ分布を把握して発生源を推測した。

3.2 プラスチック片堆積状況に対する累積降雨量の影響

プラスチック片堆積状況に対する累積降雨量の影響については、

路肩に堆積したプラスチック片の密度と先行18日間の累積降雨量の関係について回帰分析し、また、先行18日間の累積降雨量が100 mm以上と100 mm未満の場合でプラスチック片質量密度を分け、ブルンナー・ムンチエルの有意差検定をすることにより考察した。

各調査日における得られた累積降雨量と同日採取した各地点のプラスチック片質量密度の相関図をFig. 4に示す。回帰分析の結果、直線の近似式に関する決定係数 R^2 は駐車場-1脇が0.0954、駐車場-2脇が0.844、ごみ集積場-1脇が0.00628、ごみ集積場-2脇が0.0101、ごみ集積場-3脇が0.104、ごみ集積場-4脇が0.0000370、住居地の埠脇が0.0125であり、表面が砂利で覆われた駐車場-2脇が、累積降雨量が大きくなるほどプラスチック片質量密度が増加する正の相関関係が見られた。累積降雨量が大きくなるほど、プラスチック片が近傍から除去され流入する量は流出する量より多く、路肩に堆積したと考えられる。また、100 mm以上累積降雨量とそれ未満で分けたプラスチック片質量密度についてのブルンナー・ムンチエルの有意差検定により得られたP値は、駐車場-1脇が0.028、ごみ集積場-1脇が0.79、ごみ集積場-2脇が0.91、ごみ集積場-3脇が0.92、ごみ集積場-4脇が0.047、住居地の埠脇が0.94であり、表面がアスファルトで覆われた駐車場-1の脇については、100 mm以上の累積降雨量におけるプラスチック片質量密度は、累積降雨量100 mm未満の時と比べて低く、5%有意水準で統計的な有意差がある結果となった。累積降雨量が100 mm未満のときは、脇の路肩では流されて流出する量より堆積する量が大きいが、累積降雨量100 mm以上では、プラスチック片が脇の駐車場など近傍から流入する量より流出する量の方が多く、路肩から減少したと考えられる。ごみ集積場-4脇についても、5%有意水準で統計的な有意差がみられ、100 mm以上の累積降雨量におけるプラスチック片質量密度は、累積降雨量100 mm未満の時と比べて高かった。累積降雨量が100 mm未満のときは、プラスチック片が脇のごみ集積場など近傍から流入する量より流出する量が大きいが、累積降雨量100 mm以上では、プラスチック片が路肩に堆積する量の方が多かったと考えられる。駐車場-2脇につ

いては、不偏分散が0であったので、P値は求まらなかった。ごみ集積場-1、ごみ集積場-2、ごみ集積場-3及び住居地の埠脇については、プラスチック片堆積状況に対する累積降雨量の影響は明確ではなかった。

Fig. 1に示すように、駐車場-1は表面がアスファルトで覆われた駐車場であり、面積は39 m²と狭く、奥行きも10 m未満で路肩に接している。地表面の流出係数は、アスファルト舗装が0.70~0.95³⁵⁾である。雨水の損失が少なく、表面の凹凸も砂利よりも少ないため、累積降雨量が少なくても駐車場のプラスチック片が路肩に運ばれるものの、累積降雨量が100 mm以上になり、降雨量が多いときには、路肩に堆積する量よりも流出するプラスチック片の量が多くなり、路肩堆積量が減少したと考えられる。表面が砂利で覆われた駐車場-2は、面積が296 m²と広く、奥行きも10 m以上で路肩に接しており、地表面の流出係数は、砂利が0.30~0.70³⁵⁾である。雨水の損失がアスファルト舗装よりも多く、表面の凹凸も大きいため、駐車場のプラスチック片がすぐに路肩まで流されないで駐車場内に堆積しやすく、累積降雨量が多くなるほど、路肩への堆積量が多くなると考えられる。ごみ集積場-4についても、四方のほとんどがブロック埠に囲まれ、プラスチック片が散らばりにくいため、累積降雨量が100 mm未満では路肩まで流されにくく、累積降雨量が100 mm以上になると、路肩への堆積量が多くなると考えられる。以上の結果から、累積降雨量が多くなるとプラスチック片の質量密度が高くなるパターンと、逆に、累積降雨量が多くなるとプラスチック片の質量密度が低くなるパターンとあり、また、脇にあるものが駐車場など、同じ種類のものがあっても、その表面の構造が違うと、プラスチック片の堆積のパターンが違うことが明らかとなり、流域のプラスチック片の面源負荷を把握するには、土地の用途だけでなく構造とその降雨による流出の違いについて、考慮しなければならないことがわかった。

ごみ集積場-1、ごみ集積場-2及びごみ集積場-3については、ごみ集積場-4のように、四方にごみが散らばらないような構造ではない

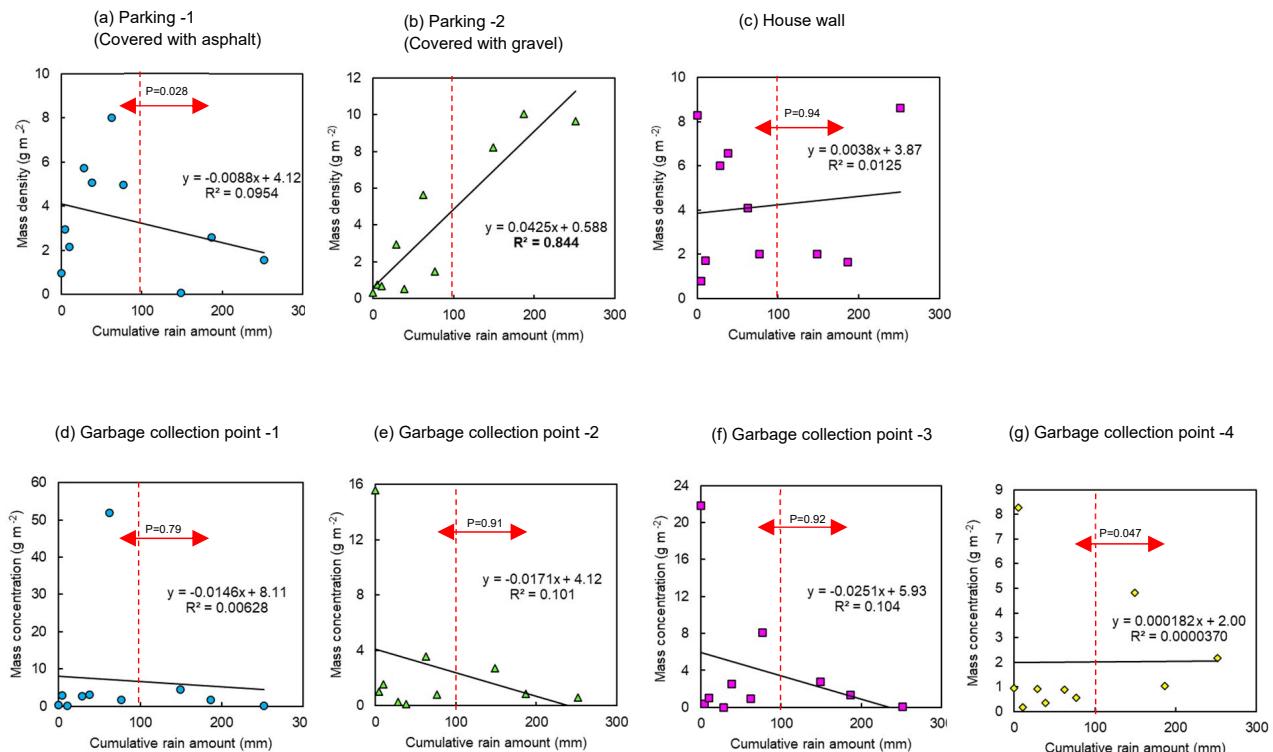


Fig. 4 Correlation between cumulative rainfall amount and mass density of plastic pieces on each shoulder

ので、ごみ集積及び回収等で散らばったプラスチック片の影響の方が、降雨に流されるプラスチック片の影響よりも大きいので、路肩のプラスチック片の質量密度は累積降雨量による影響が表れなかつたと考えられる。また、住居地の埠脇の路肩はすぐ埠であるので、隣地でなく他の場所のプラスチック片が流入したり、その場に落とされたプラスチックごみの影響が大きいので累積降雨量の影響が明確でなかつたと考えられる。

3.3 路肩堆積物中のプラスチック片材質とサイズ分布

発生源を推測するため、脇の土地利用による路肩のプラスチック片の材質とサイズ分布を把握した。路肩のプラスチック片の材質の質量割合を Fig. 5 に示す。ここでは、2020年4月から2021年2月に10回行われた調査結果を住居地等の埠脇・ごみ集積場脇・駐車場脇に分け、材質ごとの質量密度の割合を図示している。材質の分類としては、前報³²⁾と同様に、汎用樹脂として身の回りの製品に使われているPE, PP, PS, PET及びPVC¹⁶⁾とし、それ以外を「その他」

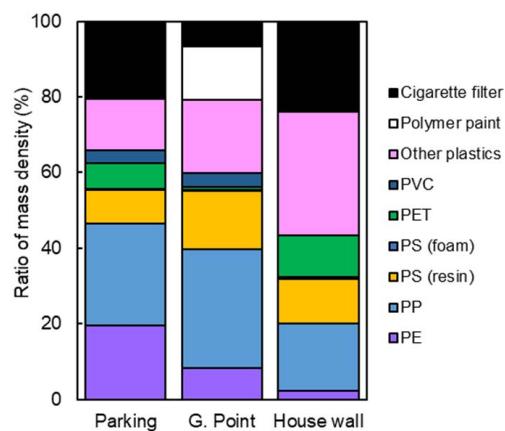


Fig. 5 Ratio of plastic material in road dust on the side of parking, garbage collection point and house wall

に区分した。その他に関しては路上標識に使われている塗料及びタバコフィルターとそれ以外に分けた。PE, PP, PS, PET, およびPVCは、検出されたポリマー材料の中で代表的なものであった（質量で43~66%）。また、ごみ集積場脇は、住居地の埠脇及び駐車場よりタバコフィルターの割合が少なく、また、プラスチック製品の原料としてよく使われている¹⁶⁾ PE, PP及びPSの代表三種で50%以上を占めていた。本研究で実施した回収方法は、1 mm以上ならば比重分離の前にピンセットで見つけることができる方法で、比重が1より大きいPVC及びPETも回収できたので、比重が1より小さいPE及びPPが多く検出されたことに、回収方法の影響はないと考えた。

また、各調査地点における塗料及びタバコフィルター以外のプラスチック片の碎片化の挙動を考察するため、塗料及びタバコフィルターを除いたプラスチック片のサイズ分布を Fig. 6 に示す。ここでは、ごみ集積場脇・駐車場脇・住居地等の埠脇について2020年4月から2021年2月に行われた調査結果のプラスチック片の長軸サイズに関する累積加積曲線を図示した。なお、ここでの累積値の計算には、質量ではなく、プラスチック片の数を用いていることに注意されたい。これより、プラスチック片サイズは、ごみ集積場脇及び駐車場脇で全体的に大きかったことが分かる。各場所におけるプラスチック片の50% (90%) サイズ（累積値が50% (90%)）は、ごみ集積場脇・駐車場脇・住居地等の埠脇でそれぞれ 12.6 mm (64.6 mm)・9.0 mm (96.7 mm)・6.7 mm (29.4 mm) であった。50%サイズは、ごみ集積場脇のプラスチック片が大きかったが、90%サイズでは、駐車場脇のプラスチック片が大きかった。このようにごみ集積場脇及び駐車場脇では、住居地等の埠脇より大きなサイズのプラスチック片が顕著に存在していた。ごみ集積場脇では、集積されたプラスチックごみに起因するプラスチック片があり、駐車場脇では駐車場利用者の落とし物などに起因するプラスチック片があることが予測され、住居地の埠脇では、すぐそばに明らかな発生源はないが、他の地点で発生し、物理的及び劣化により碎片化しながら運ばれてきたプラスチック片があると考えられる。

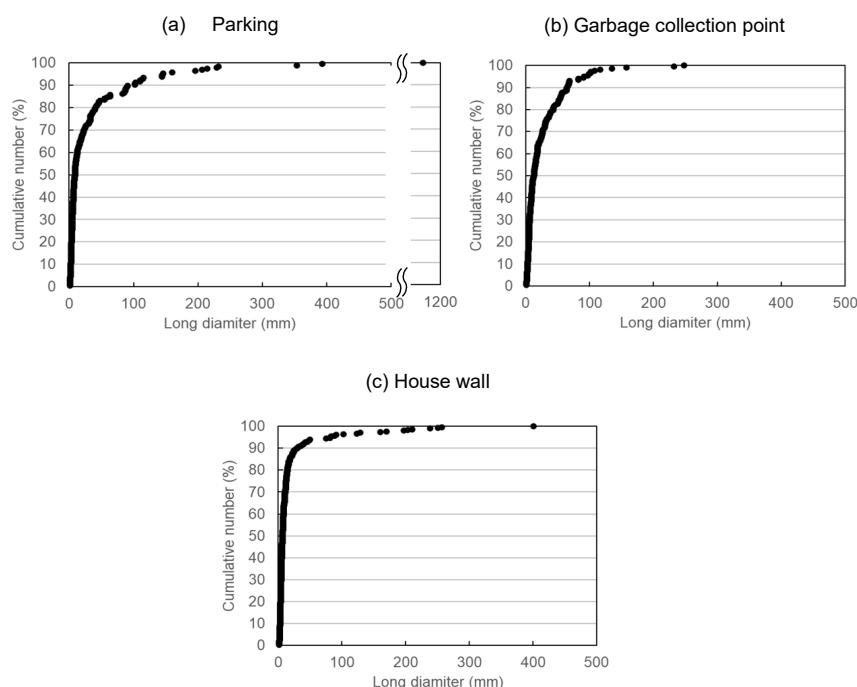


Fig. 6 Percent of cumulative number of plastic pieces in road dust on the side of parking, garbage collection point and house wall

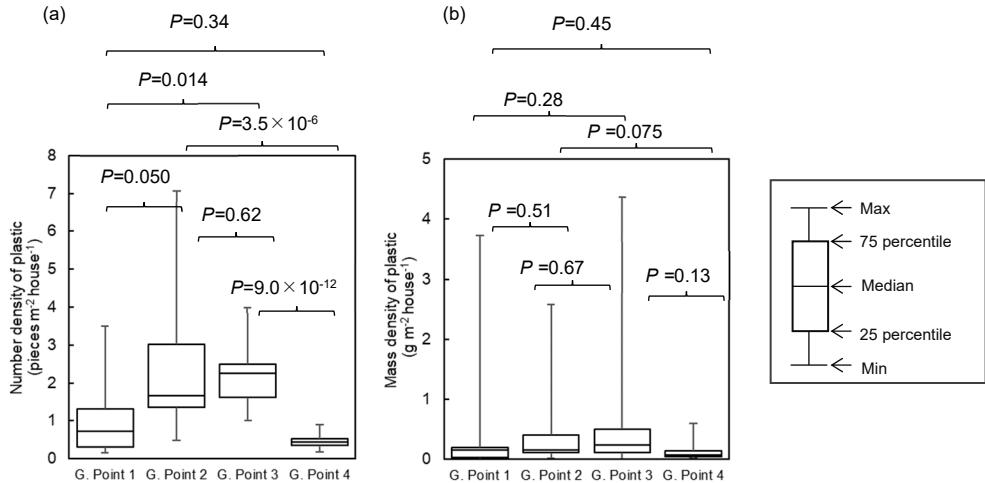


Fig. 7 Number density of plastic pieces (a) and mass density of plastic (b) on the side of garbage collection points

Sampling was conducted on April in 2020-Feb. in 2021.
The averaged values of each point were displayed.
P values between each area were shown.

3. 4 ごみ集積場の構造によるプラスチック片の堆積状況

ごみ集積場については、その構造により、累積降雨量の影響が異なると考えられたため、ごみ集積場の構造によるプラスチック片密度の比較についても行った。ここでは、ごみ集積場脇の4地点で2020年4月～2021年2月に10回行われた調査結果を地点ごとに分け、ごみ集積場の構造による路肩への排出の差異をみるため、ごみ集積場にむき出しで捨てられることがほとんどないタバコフィルター及び塗料を差し引いた単位面積・集積戸数当たりのプラスチック片の数密度と質量密度を算出した結果をFig. 7に示す。まず、プラスチック片の数密度の平均値±標準偏差は、ごみ集積場-1は 1.20 ± 1.28 個 $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-2は 2.41 ± 1.98 個 $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-3は 2.35 ± 1.00 個 $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-4は 0.46 ± 0.23 個 $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ となっていたり、タバコフィルター及び塗料を差し引いた値も変動が大きかった。また、ごみ集積場の構造によるプラスチック片の数密度の差異があるかどうかをブルンナー・マンセル検定により検討した。4群比較なので、有意水準5%とすると1回の差の検定の有意水準は4で割った1.2%として比較した。ごみ集積場-4とごみ集積場-2の差については、P値が 3.5×10^{-6} 、ごみ集積場-4とごみ集積場-3の差については、P値が 9.0×10^{-12} となり、5%の有意水準で有意に差があることが示された。

プラスチック片の質量密度の平均値±標準偏差に関しては、ごみ集積場-1は 0.48 ± 1.15 g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-2は 0.45 ± 0.77 g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-3は 0.77 ± 1.35 g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-4は 0.14 ± 0.18 g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ となっていた。最大値については、ごみ集積場-1については、6月18日に最大値が3.73g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-2及びごみ集積場-3については、12月25日に最大値が2.58g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 及び4.36g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、ごみ集積場-4については、11月19日にプラスチック片質量密度が最大値0.592g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ となり、どの集積場も最大値は平均値と比べて数倍以上の差があった。ごみ集積場-1の6月18日には、板状の10.1gのPPが、ごみ集積場-2の12月25日には、板状の6.1gのポリ酢酸ビニルが、ごみ集積場-3の12月25日には、不定形樹脂状の8.5gのPS、ごみ集積場-4の11月19日には、円盤状の3.3gのゴムと、平均値の5倍以上の質量のプラスチック片が落ちていた。また、ごみ集積場の構造によるプラスチック片質量密度の差異があるかどうかをブルンナー・マンセル検定により4群比較で検討した。有意水準5%とすると1回の差の検定の有意水準は

4で割った1.2%として比較したところ、5%の有意水準で有意に差がある組み合わせはなかった。ごみ集積場-4は、全10回の調査でタバコフィルター及び塗料を差し引いたプラスチック片を合計すると、数密度3.0個 $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ で、合計の質量密度は1.2g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ となるが、そのうち0.1g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ を占めるプラスチック片は、数密度では0.54個 $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ 、質量密度0.89g $\text{m}^{-2} \cdot \text{戸}^{-1}$ となり、その割合は、数密度は18%と少ないが、質量密度は74%と、大半を占めていた。ごみ集積場-4は、四方のブロック塀の中の、0.8mほど奥まったところにごみを集積するようになっていたため、路肩に散らばったプラスチック片の数密度が低かったが、質量が重いプラスチック片があったため、質量密度について他のごみ集積場と有意差がなかったと考えられる。これらの結果から、ごみ集積場の構造が脇のプラスチック片の量に影響する可能性があることが分かった。路肩のプラスチック片濃度に対する近傍の土地の特徴の影響を把握するには、ごみ集積場の収集品目や地表面の状態などについて着目した、毎日の連続調査など、更なる詳細調査が必要であり、今後の課題とする。

4. まとめ

本研究では、繊維を除く1mm以上のプラスチック片を対象として、路肩のプラスチック片堆積状況に対する累積降雨量及び脇の土地の用途や構造の影響を解明するために、ごみ集積場及び駐車場の脇を住居地の塀脇を比較対象として堆積物の現地調査を実施した。

1) プラスチック片堆積状況に対する累積降雨量の影響については、路肩に堆積したプラスチック片の密度と先行18日間の累積降雨量の関係について回帰分析したところ、面が砂利で覆われた駐車場-2脇が、累積降雨量が大きくなるほどプラスチック片質量密度が増加する正の相関関係が見られた。また、先行18日間の累積降雨量が100mm以上と100mm未満の場合で分け、プラスチック片質量密度をブルンナー・マンセルの有意差検定したところ、アスファルトで覆われた駐車場-1は、累積降雨量が100mm未満のときプラスチック片質量密度が高く、累積降雨量が100mm以上と多いときプラスチック片質量密度が低かった。砂利面の流出係数は0.30～0.70で、アスファルト舗装の流出係数の0.70～0.95よりも低いなど、脇にある土地が同じ用途のものであっても、その表面等の構造が違うと、プラスチック片の堆積のパターンが違うこ

とが明らかとなった。

- 2) ごみ集積場脇は、四方にごみが散らばらないような構造のごみ集積場-4については、累積降雨量が100 mm未満のときプラスチック片質量密度が低く、累積降雨量が100 mm以上と多いときプラスチック片質量密度が高く、累積降雨量による影響があることが分かったが、それ以外のごみ集積場では、累積降雨量によるプラスチック片質量密度の有意差がなく、ごみ集積及び回収等で散らばったプラスチック片の影響の方が大きいと考えられた。
- 3) 発生源脇の路肩堆積物に含まれるプラスチック片の材質の質量割合は、PE, PP, PS, PET, およびPVCが43~66%と代表的なものであった。
- 4) プラスチック片のサイズ分布から、ごみ集積場脇では、集積されたプラスチックごみに起因するプラスチック片が、駐車場脇では駐車場利用者の落とし物などに起因するプラスチック片があることが予測され、住居地の埠脇では、脇に明らかな発生源ではなく、物理的及び劣化により碎片化しながら運ばれてきたプラスチック片があると考えられる。
- 5) ごみ集積場にむき出しで捨てられることがほとんどないタバコフィルター及び塗料を差し引いた単位面積・集積戸数当たりのプラスチック片の数密度については、四方をブロック埠で囲まれたごみ集積場-4が他の集積場と比べて低く、ごみ集積場の構造が脇の路肩のプラスチック片の量に影響する可能性があることが分かった。

謝 辞

本研究は、神奈川県政策局 政策部総合政策課 成果展開型研究推進事業費の助成を受けました。ここに記して謝意を表します。

要 約

プラスチック片の発生源及び累積降雨量とプラスチック片密度の関係を明らかにするために、駐車場、ごみ集積場及び住居地の埠の脇を調査した。調査は、2020年4月から2021年2月までのほぼ毎月実施した。砂利面の流出係数は0.30~0.70で、アスファルト舗装の流出係数の0.70~0.95よりも低く、砂利面のプラスチック片は洗い流されにくく堆積しやすいため、地表面堆積プラスチック片が路肩に流入する質量は流出する質量よりも大きかった。PE, PP, PS, PET, およびPVCは、検出されたポリマー材料の中で代表的なものであった（質量で43~66%）。住居地の埠の脇のプラスチック片の累積比率50%に相当するサイズは、駐車場やごみ集積場脇のプラスチック片に比べて小さかった。住居地の埠の脇は、プラスチック片発生源が近くなく、プラスチック片が風化して他の部分よりも小さな破片に碎ける可能性があった。ごみ集積所の脇に散乱するプラスチック片の密度は、ごみ集積所の構造の影響を受けていた。プラスチック片流出負荷の挙動は、土地の特性、用途、降雨によって複雑に影響を受けることがわかった。

文 献

- 1) 外務省：G7 エルマウ・サミット首脳宣言（仮訳）（平成27年6月8日）（2015），http://www.mofa.go.jp/mofaj/ecm/ec/page4_001244.html（2022年10月時点）
- 2) Carpenter, E.J. and Smith, K.L.: Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, **175**, 1240-1241 (1972)
- 3) Rothstein, S.I.: Plastic particle pollution of the surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a seabird. *Condor*, **75**, 344-345 (1973)
- 4) 栗山雄司, 小西和美, 兼広春之, 大竹千代子, 神沼二眞, 間藤ゆき枝, 高田秀重, 小島あずさ：東京湾ならびに相模湾におけるレジンペレットによる海域汚染の実態とその起源, 日本水産学会誌, **68**, 164-171 (2002)
- 5) Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D. and Russell, A.E.: Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, **304**, 838-838 (2004)
- 6) Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G. and Reisser, J.: Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, **9**, e111913 (2014)
- 7) Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T. and Iwasaki, S.: East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics. *Mar. Pollut. Bull.*, **101**, 618-623 (2015)
- 8) Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T. S.: Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, **62**, 2588-2597 (2011)
- 9) The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP): GESAMP Reports and studies 90 “sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment”, pp. 14-29, International marine organization, London (2015)
- 10) Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., Teh, F.C., Werorilangi, S. and Teh, S.J.: Anthropogenic debris in seafood: Plastic deblis and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep.*, **5**, 14340 (2015)
- 11) Tanaka, K. and Takada, H.: Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Sci. Rep.*, **6**, 34351 (2016)
- 12) Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C. and Kaminuma, T.: Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environ. Sci. Technol.*, **35**, 318-324 (2001)
- 13) Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Tahada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R. and Date, T.: Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences. *Mar. Pollut. Bull.*, **50**, 1103-1114 (2005)
- 14) Ogata, Y., Tagata, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K., Nakashima, A., Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R., Mohamad, P.Z., Dung, L.Q., Gordon, M., Miguez, C., Suzuki, S., Moore, C., Karapanagioti, H.K., Weets, S., McClurg, T., Burres, E., Smith, W., Velkenburg, M.V., Lang, J.S., Lang, R.C., Laursen, D., Danner, B., Stewardson, N. and Thompson, R.C.: International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Mar. Pollut. Bull.*, **58**, 1437-1446 (2009)
- 15) Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law, K.L.: Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, **3**, e1700782 (2017)
- 16) Ministry of Economy, Trade and Industry: Current Survey of Production, Chemical Industry Statistics in 2021. (2021), https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.

- html (2022年10月時点)
- 17) Moore, C.J., Lattin, G.L. and Zellers, A.F.: Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Inte-grated Coastal Zone Management*, **11**, 65–73 (2011)
 - 18) Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrade, A., Narayan, R. and Law, K.L.: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, **347**, 768–771 (2015)
 - 19) Carr, S.A., Liu, J. and Tesoro, A.G.: Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.*, **91**, 174–182 (2016)
 - 20) Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrade, A. and Reisser, J.: River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.*, **8**, 15611 (2017)
 - 21) Schmidt, C., Krauth, T. and Wagner, S.: Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environ. Sci. & tech.*, **51**, 12246–12253 (2017)
 - 22) Nihei, Y., Yoshida, T., Kataoka, T. and Ogata, R.: High-resolution mapping of Japanese microplastic and macroplastic emissions from the land into the sea. *Water*, **12**, 951–976 (2020)
 - 23) Mani, T., Hauk, A., Walter, U. and Burkhardt-Holm, P.: Microplastics profile along the Rhine River. *Sci. Rep.*, **5**, 17988 (2015)
 - 24) Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C. and Aldridge, D.C.: Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.*, **75**, 63–82 (2015)
 - 25) 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 日向博文, 島崎穂波, 馬場大樹: 日本国内における河川水中のマイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討, 土木学会論文集B1(水工学), **73**, I1225–I1230 (2017)
 - 26) Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K. and Hinata, H.: Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environ. Pollut.*, **244**, 958–965 (2019)
 - 27) 小林俊介, 岡本洋輔, 片岡智哉, 向高 新, 二瓶泰雄: 河川水・堆積物中に含まれるマイクロプラスチックの製品特定の試み, 土木学会論文集B1(水工学), **76**, I_1351–I_1356 (2020)
 - 28) Evangelou, N., Grythe, H., Klimont, Z., Heyes, C., Eckhardt, S., Lopez-Aparicio, S. and Stohl, A.: Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions. *Nat. Commun.*, **11**, 3381 (2020)
 - 29) 高田秀重: 海洋プラスチック汚染とその対策, 学術の動向, **2019**, 44–48 (2019)
 - 30) 北原健一, 中田晴彦: 陸域におけるマイクロプラスチックの発生源検証, 第53回日本水環境学会年会講演集, 5 (2019)
 - 31) Yukioka, S., Tanaka, S., Nabetai, Y., Suzuki, Y., Ushijima, T., Fujii, S., Takada, H., Tran, Q.V. and Singh, S.: Occurrence and characteristics of microplastics in surface road dust in Kusatsu (Japan), Da Nang (Vietnam), and Kathmandu (Nepal). *Environ. Pollut.*, **256**, 113447 (2020)
 - 32) 三島聰子, 小澤憲司, 中山駿一, 菊池宏海, 難波あゆみ, 片岡智哉, 二瓶泰雄: 流域～河川～海岸におけるプラスチック片堆積状況の比較解析の試み～神奈川県引地川流域を例に～, 水環境学会誌, **45**, 11–19 (2022)
 - 33) Sugiura, M., Takada, H., Takada, N., Mizukawa, K., Tsuyuki, S. and Furumai, H.: Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff. *Environ. Monit. and Contamin. Res.*, **1**, 54–65 (2021)
 - 34) 国土交通省大臣官房官序営繕部整備課: 構内舗装・排水設計基準の資料 (平成27年制定) 平成27年3月31日国営整第298号 (2022), <https://www.mlit.go.jp/common/001157901.pdf> (2022年10月時点)
 - 35) 砂田岳彦, 二瓶泰雄, 坂井文子, 吉田拓司: 模擬降雨流出水採取法 (MOS法) に基づく路面上のノンポイント汚染源調査, 水工学論文集, **50**, 1513–1518 (2006)
 - 36) 二瓶泰雄, 砂田岳彦, 水野智之: 模擬降雨流出水採取法に基づく路面塵埃環境の時間的・空間的変動特性の把握, 水環境学会誌, **29**, 261–268 (2006)
 - 37) 矢本貴俊, 諸岡良優, 山田 正: 地上雨量観測所数と流域平均雨量に関する一考察～鬼怒川流域を例にして～, 地球環境シンポジウム講演集, **24**, 65–67 (2016)