

# プラスチックの海洋生分解性評価

発表者：菊地 貴子（高分子技術部門）

## 1. はじめに

プラスチックは現在の社会生活に必要不可欠なものであり、プラスチックの利用で私たちは快適な生活を享受してきた。近年、使用済みのプラスチックが適切に回収・廃棄されていないことから海洋プラスチックごみ問題が世界的に注目されている。2019 年に開催された G20 大阪サミットでも主要テーマとして議論されており、国内では経済産業省が「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」<sup>1)</sup>を策定した。その中で実用化技術の社会実装として海洋生分解性の評価法の信頼性向上が重要な項目の一つとなっている。

生分解性評価では、想定する環境を考慮し、それらの環境を模擬した条件で生分解度を評価する。例えば、コンポスト化処理を想定した食品包装材料は植種源にコンポストを、農業用マルチフィルムでは土壌を植種源に試験を実施する。ISO では、浅海や潮間帯、遠洋など様々な環境を想定し、各環境下に対して試験法がそれぞれ提案され議論中であるが、浅海域の海底を想定した ISO19679<sup>2)</sup> (CO<sub>2</sub> 発生量を測定) と ISO18830<sup>3)</sup> (O<sub>2</sub> 消費量を測定) が 2016 年に発行されている。海洋生分解性については、ISO の規格化が進む一方で、試験期間の長期化及び精度の確保が課題となっている<sup>3)</sup>。今回、海洋の生分解度の評価法の一つである ISO19679 について紹介する。

## 2. 試験方法

ISO19679 は浅海域の海底を想定した試験法で、海水及び堆積物を植種源としている。植種源の海水及び堆積物は一色海岸（相模湾）及び八景島（東京湾）の 2 箇所から採取した。試験材料は、約 0.1 mm 厚シート状にプレス成形したポリ[(R)-3-ヒドロキシ酪酸]（PHB/Sigma Aldrich）、ポリブチレンサクシネート（PBS/PTT MCC Biochem）、ポリブチレンサクシネートアジペート（PBSA/PTT MCC Biochem）

ポリ乳酸（PLA/Sigma Aldrich）及び対照材料としてセルロース（Whatman no. 42）を用いた。採取した海水及び堆積物を培養瓶に入れシート状試験材料を堆積物上に静置し、25±2 °C で培養した。培養瓶中で発生した CO<sub>2</sub> 量を測定し、CO<sub>2</sub> 発生量から試料の生分解度に換算した。装置概要を図 1 に示す。

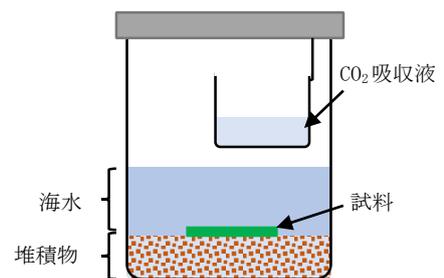


図 1 装置概要（閉鎖系）

### 3. 結果と考察

#### 3.1 試験の妥当性及び植種源の採取場所の比較

生分解は微生物による酵素反応のため、微生物活性、温度、微生物の種類・数等様々な条件で分解速度が異なってくる。そこで、ISO規格では試験の妥当性を担保するため4つの条件を設けている。180日後の対照材料（セルロース）の生分解度が60%以上であること。6か月後のブランクのCO<sub>2</sub>発生量が3.5 mgCO<sub>2</sub>/g以下であること。試験はばらつきが大きくなるためn=3で実施するが、試験終了後のn=3のブランクCO<sub>2</sub>発生量が平均値の20%以内であること。試験終了後のセルロースの生分解度の各容器間偏差が平均値の20%以下であること。これらが適合して、試験の有効性が認められる。試験が長期間になるISO19679において、いかに微生物活性を安定化し4条件をクリアすることが課題である。CO<sub>2</sub>発生量が多く活性が高い場合、ばらつきが生じ易く試験の再現性が低下する可能性があるため、海水及び堆積物を25±2℃でばっ気し予培養を行った。予培養の結果、各々の海水及び堆積物のブランクのCO<sub>2</sub>発生量偏差は10%以内に安定した。試験は、一色海岸、八景島の2箇所の植種源と、2箇所の植種源を等量混合した植種源の計3種類で行った。

2019年6月に植種源を採取し試験を行い、得られたブランクのCO<sub>2</sub>発生量を図2に、対照材料であるセルロースの生分解度を図3に示す。八景島のCO<sub>2</sub>発生量は一式海岸より高かった。一色海岸が外海に面しているのに対し八景島は内海であるため、一式海岸より八景島の方がバイオマス量が多く活性が高いと考えられる。2箇所混合のCO<sub>2</sub>発生量は八景島と同程度であった。

セルロースの分解度曲線を比較すると、八景島と一式海岸では分解度曲線の立ち上がりが大きく異なり、一式海岸は八景島より分解速度は遅くかつn=3のばらつきも大きかった。八景島は約120日を過ぎると定常期に至ったが、一式海岸は約200日経過後においても分解度の上昇が認められた。2箇所混合の分解度曲線は八景島と類似した挙動を示した。培養180日のセルロースの平均生分解度は、一色海岸95%、八景島82%、2箇所混合83%、6か月後のブランクのCO<sub>2</sub>発生量は一色海岸 平均1.7 mg/g、八景島 平均

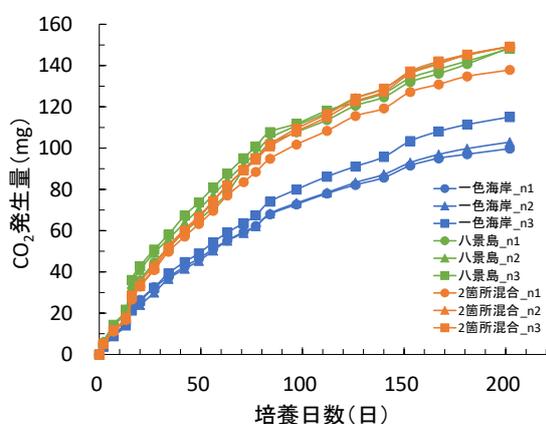


図2 ブランクのCO<sub>2</sub>発生量

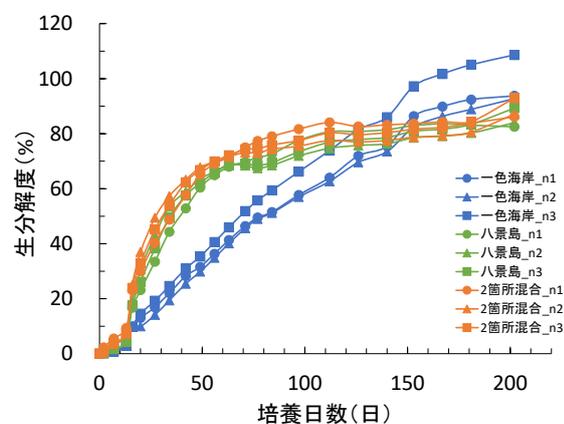


図3 セルロースの生分解度

2.4 mg/g、2箇所混合 平均 2.4 mg/g であり、有効性が確認された。

### 3.2 海水及び堆積物の採取箇所の比較

PHB の培養 202 日間の試験結果を図 4 及び表 1 に示す。八景島では、試験中の生分解度の偏差は、培養 49 日後で 30% と最大となり、その後、培養 100 日経過し定常期に至ると偏差は収束し、培養 202 日後での偏差は 8% であった。2 箇所混合の分解度曲線は八景島と類似した曲線を描いたが、八景島よりばらつきは小さかった。培養期間 202 日で八景島と 2 箇所混合では定常期に至ったが、一色海岸はまだ定常期に至っていない<sup>4)</sup>。

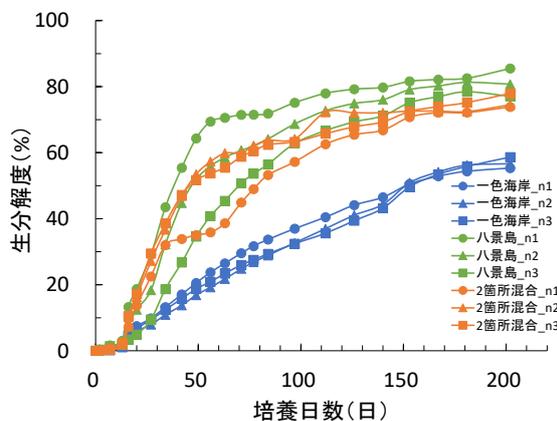


図 4 PHB の生分解度

表 1 培養 202 日後の PHB の生分解度

植種採取時期		一色海岸	八景島	2 箇所混合
生分解度 (%)	平均	57	81	75
	最大	59	85	78
	最小	55	77	74

### 3.3 季節変動の比較

微生物活性が季節でどのような影響を受けるか、2 箇所混合の植種源で採取時期を変えて微生物活性を調査した。採取時期は 2019 年 6 月、2019 年 11 月、2020 年 3 月で行った。空白の CO<sub>2</sub> 発生量を図 5 に、セルロースの生分解度を図 6 に示す。採取時期で空白の CO<sub>2</sub> 発生量は大きく異なったが、2019 年 6 月、2020 年 3 月の植種源でのセルロースの分解速度は速く、2019 年 11 月の植種源では分解速度は遅かった。今後継続して 180 日間培養を行い考察する予定である。

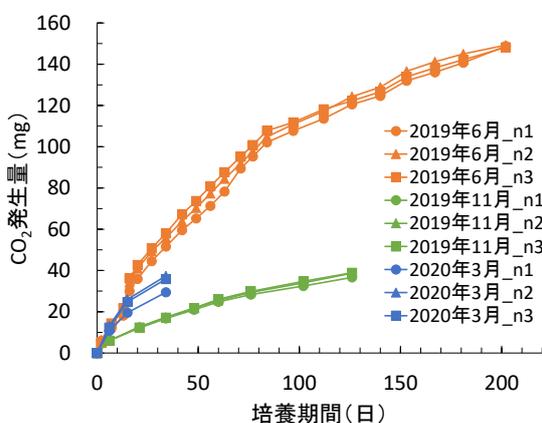


図 5 空白の CO<sub>2</sub> 発生量

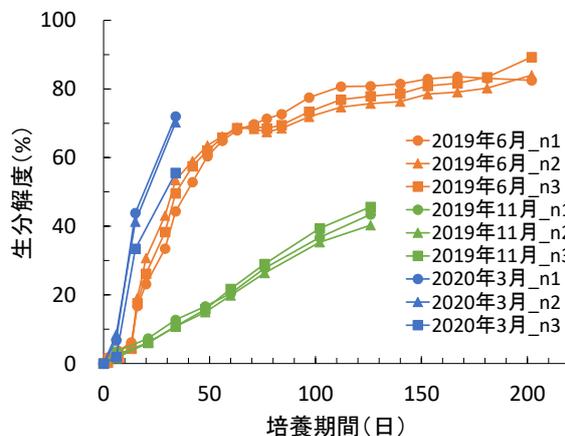


図 6 セルロースの生分解度

### 3.4 樹脂間の比較

八景島の植種源を用いて実施した各樹脂の生分解度曲線を図7に示す。樹脂毎に分解速度は異なり、PBSAは培養202日後でも分解は進行中である。今後定常期に向かいばらつきが小さくなるか継続して調査を行う予定である。

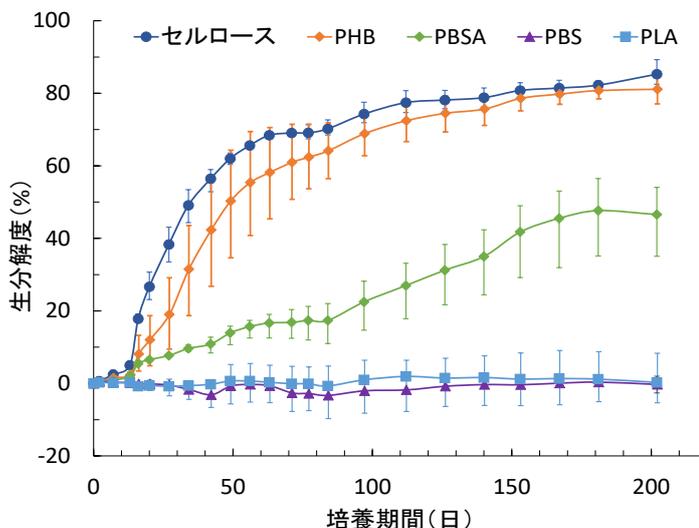


図7 各樹脂の生分解度

### 4. まとめ

海洋の生分解度の評価法の一つである ISO19679 の事例を紹介した。6 か月にわたる長期間であったが、試験の有効性が確認された。しかしながら、植種源や季節変動による影響も大きい

ため、再現性を含めて試験精度の向上について課題を見出した。海洋プラスチックごみ問題の解決策の一つとして海洋生分解性プラスチックの開発普及が取り組まれているが、そのためには海洋生分解性の評価法の確立が急務となっている。引き続き分解メカニズムや変動要因の精査等調査研究を行い、試験精度の向上を図る予定である。

本機構は、活性汚泥、コンポスト、土壌など、様々な植種源を用いてプラスチックの生分解性評価を実施しております。今回紹介した ISO 以外にも ASTM も含めた海洋生分解プラスチックの評価実績がございます。様々なニーズに合わせた生分解性評価を行っていますので、お問い合わせください。

### 5. 参考資料

- 1) 経済産業省 令和元年5月7日 海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ
- 2) ISO19679:2016 Plastic-Determination of aerobic biodegradation of non-floating plastic materials in a seawater/sediment interface-Method by analysis of evolved carbon dioxide
- 3) ISO18830:2016 Plastic-Determination of aerobic biodegradation of non-floating plastic materials in a seawater/sediment interface-Method by measuring the oxygen demand in closed respirometer
- 4) 植松正吾ら：バイオプラジャーナル, 70, 15 (2018)
- 5) 田口浩然、菊地貴子ら：エラストマー討論会, 30, 23 (2019)