

海岸底質中マイクロプラスチックの 簡易な調査方法の確からしさ

長崎大学:朝倉 宏

- 次のページから始まる, 高校生向けの現場調査方法解説を完成させ, 私のホームページに掲載します。
- 私は第3, 第4の現場調査方法を提示して混乱させるつもりはありません。簡単な方法の確からしさを説明することが目的です。
- ページ数が多いですが, 概要を説明するにとどめます

砂浜における マイクロプラスチック含有量の 簡便な測定方法

長崎大学:朝倉 宏



私たちが説明します

背景

背景：プラスチックの発明と台頭

博士が言っていたしょう油を買ってきたよ。
でもこれ、ガラスびんだから重かったよ。
どうしてわざわざガラスびんにするの？



逆じゃ。プラスチックになったのは最近じゃ。
今ではなんでもかんでもプラスチックになったな。

プラスチックの特長：

- 軽くて強い
- さびたり腐ったりしない
- 透明かつ色もつけられる
- その名の通り形を変えやすく加工しやすい

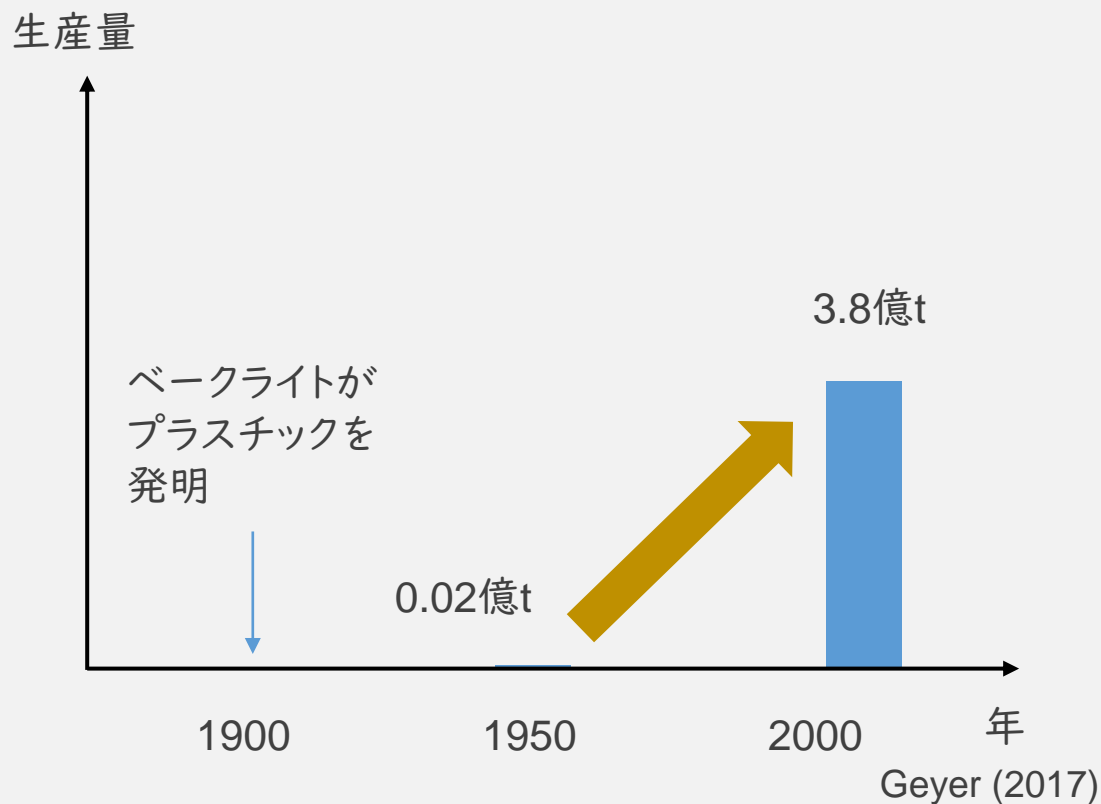


背景:プラスチックの大量生産



- プラスチックの生産量の増加がとんでもないことになっておる
- 2050年までに, 累計生産量が330億tと予想されておる

Barrows (2017)



背景:プラスチックごみによる環境汚染

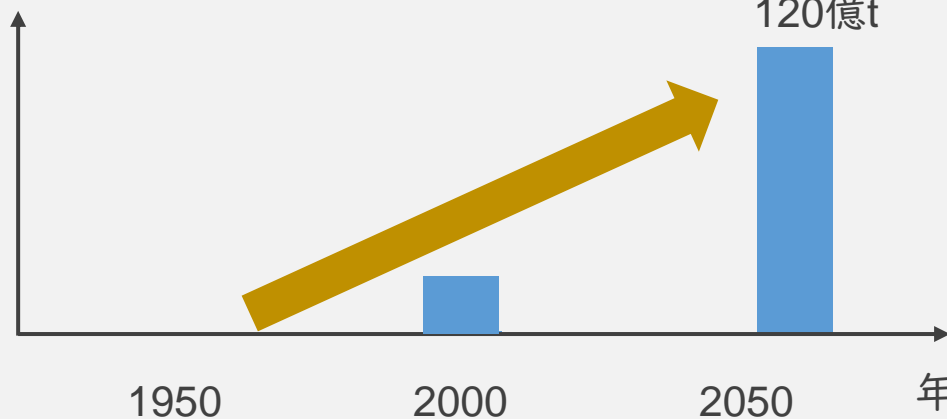


- 2010年だけでも、400~1200万tが海洋環境に流入？
- 2050年には、120億tが埋立地や環境中にある

Jambeck (2015)

Geyer (2017)

累積プラスチックごみ



Geyer (2017)



背景:小さなプラスチックごみ



- 大きなプラスチックごみは、太陽の紫外線や波の力などで痛んで小さくなる
- 最初から小さいプラスチックごみもあるぞ
- 5 mm以下のプラスチックごみを、特に**マイクロプラスチック (MPs)**と呼ぶ



最初から小さいレジンペレット

背景:プラスチックごみによる実害



この資料ではマイクロプラスチック (MPs) を対象としておる

大きなごみ

- 生物にからまる
- 生物の消化器をつまらせる



小さなごみ (MPs)

- 生物の消化器をつまらせる
- 有害成分の蓄積, 生物への移行



Lusher (2013) 英仏海峡に生息する魚の36.5%の消化管からプラスチックが検出

Tanaka (2012) 外洋性海鳥の胃の中のプラスチック片と腹部脂肪中からポリ臭化ジフェニルエーテルが検出

プラスチックごみを減らしたい！

① SDGs (2015)

- 2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標
- ターゲットの一つ：2025年までに、海洋ごみや富栄養化を含む、特に陸上活動による汚染など、あらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減

② EUプラスチック戦略 (2018)

- EUの循環型社会に向けた政策文書
- 目標の一つ：2030年までに、EU域内で使用されるすべてのプラスチック製品を再生可能なものにし、大幅に削減

③ G20大阪サミット (2019)

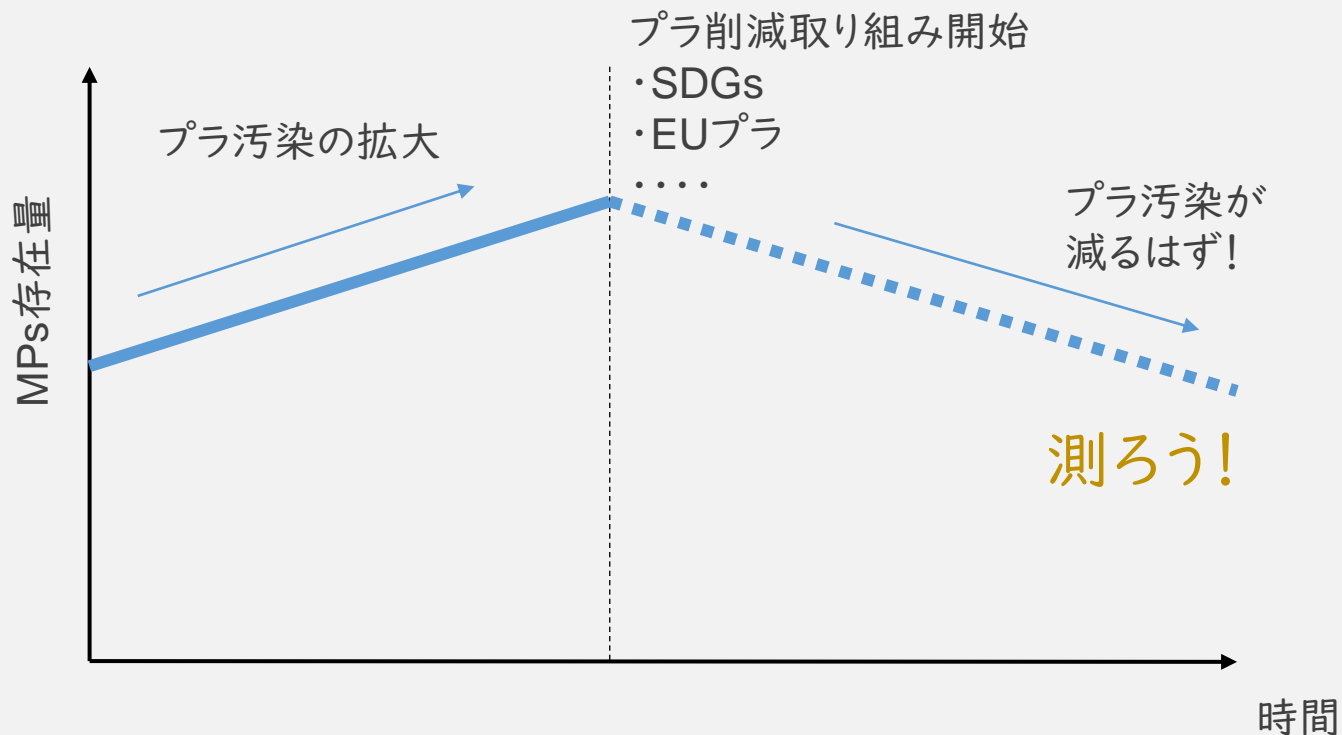
- 日本がG20議長国となり、大阪で開かれた首脳会談
- 2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」を共有

環境中MPs存在量の推移（予想）

削減取組後にMPsは減少するはず



減少していくことを確かめたい！



背景:MPs調査方法



いくつかガイドラインが作られておる。日本のものもあるぞ。



JRC, 2013
Guidance on Monitoring of
Marine Litter in European
Seas



GESAMP, 2019
GUIDELINES FOR THE
MONITORING AND ASSESSMENT
OF PLASTIC LITTER IN THE
OCEAN



NPEC, 2020
海岸におけるマイクロプラスチック調査
ガイドライン

Most litter indicators are **not suited to use volunteers** because of the need for ships, **sophisticated equipment** and/or **specialist knowledge**.

ほとんどのごみ指標は、船舶、**高度な機器**、およびまたは**専門知識**が必要なため、**ボランティアの利用には適していません**。



こんなことを言っておるが、調査はむずかしいのじゃろうか？

背景:みんなの力が必要です



さきほどの海外のガイドラインでも、非専門家による調査を推奨しておる

Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas (JRC, 2013)

2.4.2.4. Use of volunteers

However, **cost of monitoring can be greatly reduced by using volunteers. ...act as an early warning system and awareness and public engagement tool essential to marine litter prevention.**

...Thus **more data series are generated** that can also fill in gaps of the official monitoring activities.

2.4.2.4. ボランティアの活用

しかし、ボランティアを活用することで、モニタリングのコストを大幅に削減することができる。・・・海洋ごみ対策に不可欠な早期警告システム、意識向上、市民参加のツールとして機能する可能性が高まる。...このように、公式のモニタリング活動のギャップを埋めることができる、より多くのデータシリーズが生成されるのである。

GUIDELINES FOR THE MONITORING AND ASSESSMENT OF PLASTIC LITTER IN THE OCEAN (GESAMP, 2019)

3.5 The role of Citizen science

There is a growing recognition that members of the public represent a very important resource for finding out more about the environment, in their role as citizen scientists. ...

‘Citizen science empowers citizens in exploring, measuring and experimenting with the world around them can play a valuable role. Citizens have a major role to play in addressing the challenges to a sustainable future. ...’

3.5 市民科学の役割

一般市民が市民科学者として、環境についてより多くを知るための非常に重要なリソースであるという認識が広がっている。・・・市民科学は、市民が自分の周りの世界を探索し、測定し、実験する力を与えるものであり、貴重な役割を果たすことができる。市民は、持続可能な未来への挑戦に取り組む上で大きな役割を担っている。・・・

背景:みんなの力が必要です



- 2022年度から高等学校で実施される「総合的な探求の時間」の指導要領解説を見ると、探求への主体的な取り組み、調査・研究が推奨されておる。
- 取り組み例として、環境汚染問題も挙がっておるぞ
- 高校生によるマイクロプラスチック調査が盛んになるのでは？

高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 総合的な探究の時間編 平成30年7月 文部科学省

第1 目標

探究の見方・考え方を働かせ、…資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

(1) …

(2) …自分で課題を立て、情報を集め、整理・分析して、まとめ・表現することができるようにする。

(3) 探究に主体的・協働的に取り組む…

例えば「自然環境とそこに起きているグローバルな環境問題」

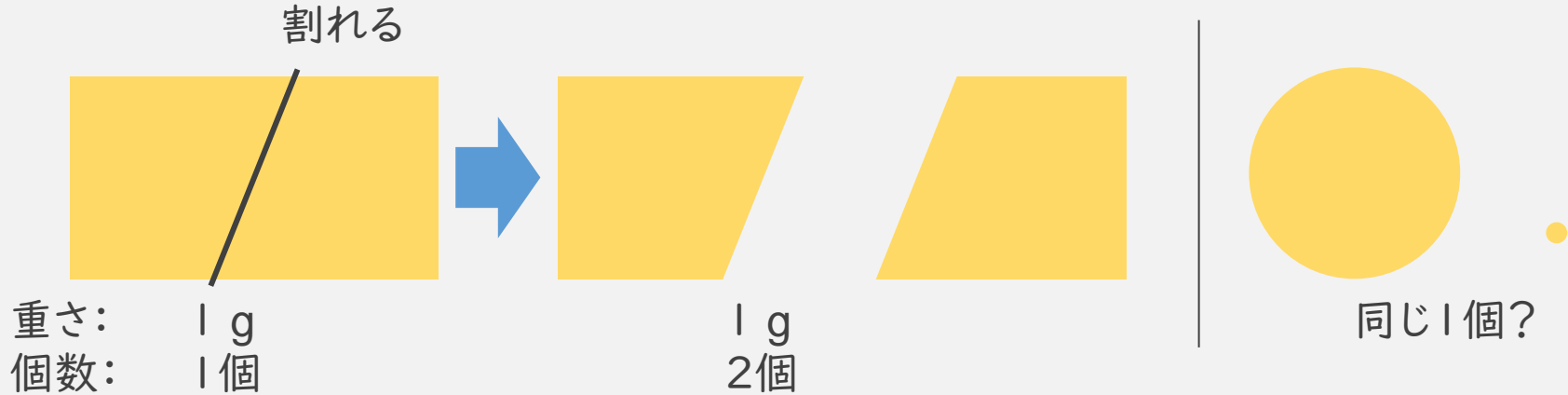
(6) 自然体験や…観察・実験・実習、調査・研究、発表や討論などの学習活動を積極的に取り入れること。

例えば、環境汚染の問題を課題にした場合、…現場を視察したり、ゴミを片付けたり…ゴミが自然環境に及ぼす影響を調べたり、…身の回りで起きている環境汚染の問題…どのような行動をとればよいのかを考えさせることにつながる。

目標を実現するにふさわしい探究課題については、…例えば、国際理解、情報、環境、福祉・健康などの現代的な諸課題…



ところでワシは、MPsを測るときは重さを記録しておく。
個数は真の量を表していないとおっているのじゃが……



JRC, 2013

3.5.2.6. Units (quantification) of litter

The unit in which litter is assessed on the coastline can be **number, weight** or volume, or a combination of these units. **Counts of items are recommended** as the standard unit of litter to be assessed on the coastline. **The assessment of weight of litter is problematical because it is dependent on whether litter items are wet or dry and often whether they are covered with or full of sand and gravel.**

3.5.2.6. ごみの単位 (定量化)

海岸線においてごみを評価する単位は、**数、重量**、体積、またはこれらの単位の組み合わせである。海岸線で評価されるごみの標準的な単位としては、**品目の数が推奨される**。**ごみの重量の評価は、ごみが濡れているか乾いているか、また砂や砂利で覆われているかによって左右されるため、問題がある。**



ガイドラインや他の研究者は、圧倒的に個数の記録を支持しておる。
しかし読み方によっては、理由がないし、重量でも良いようじゃが...

GESAMP, 2019

3.3.1 Measurement units and data management

...The rationale for selecting number or mass depends on both the policy question(s) being addressed and pragmatic concerns in producing reproducible and reliable data. Ideally both units would be used. ... The number of items may be important from a policy perspective if the concern is about assessing the overall abundance of marine litter. In the case of seafood safety then numbers of microplastics may be more useful than total mass. ... Generally mass is more difficult to assess: ... For microplastics this is rarely the case.

3.3.1 測定単位及びデータ管理

...数または質量を選択する根拠は、取り組むべき政策上の問題と、再現可能で信頼性の高いデータを作成する上での実際的な懸念の両方に依存する。理想的には、両方の単位が使用される。...海洋ごみの全体的な量を評価することに関心がある場合、品目の数は政策の観点から重要である可能性がある。水産物の安全性の場合、マイクロプラスチックの数は総質量よりも有用である可能性がある。...一般に、質量は評価がより困難である。...マイクロプラスチックについては、このようなケースはほとんどありません。

そこで、わしらは



砂浜における マイクロプラスチック含有量の 簡便な測定方法

を日々改良していっておるのじゃ。
調査をいっしょにやってくれんか？

やってみようかな？





現場での測量と試料採取の様子を見せよう



測量

逆になることも



杭打ち・試料採取面の確定



MPsが多いところ



拡大



表面の砂の採取・ふるい分け



海水への投入



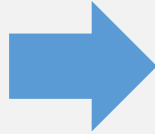
浮上したMPsなど



浮上物の採取



浮上物の濃縮



保存容器への移し替え



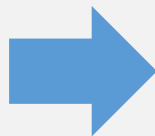
浮上物を入れた保存容器



ここからは、実験室に持って帰ってきた試料の処理の様子じゃ



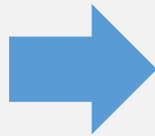
ビーカーに入れた浮上物



煮沸



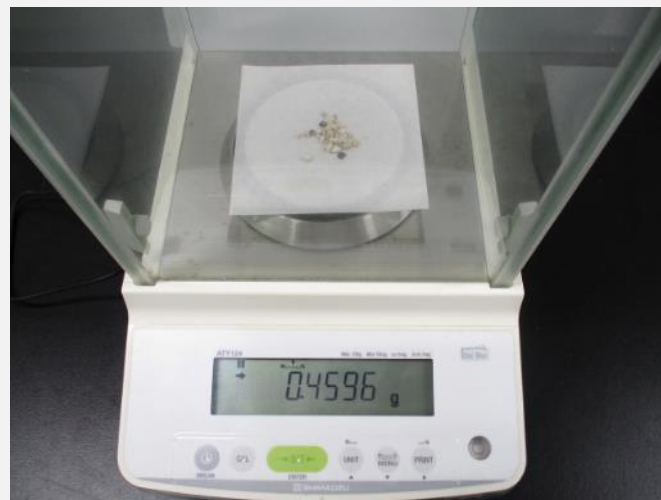
木くずなどは沈む



浮上物の乾燥



MPs以外の排除



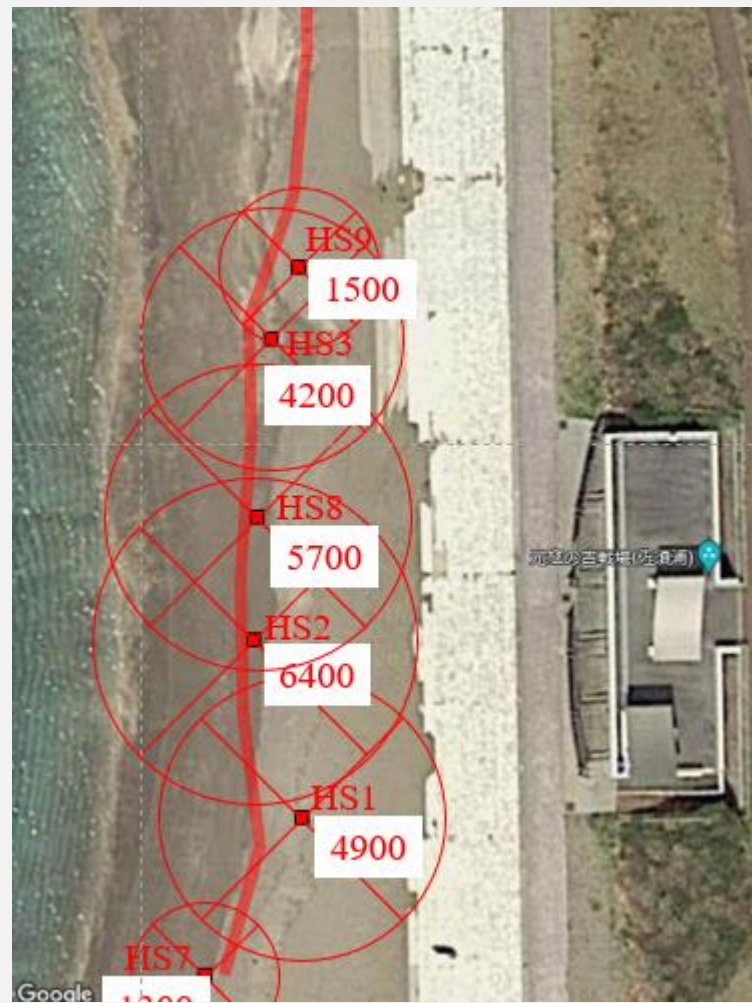
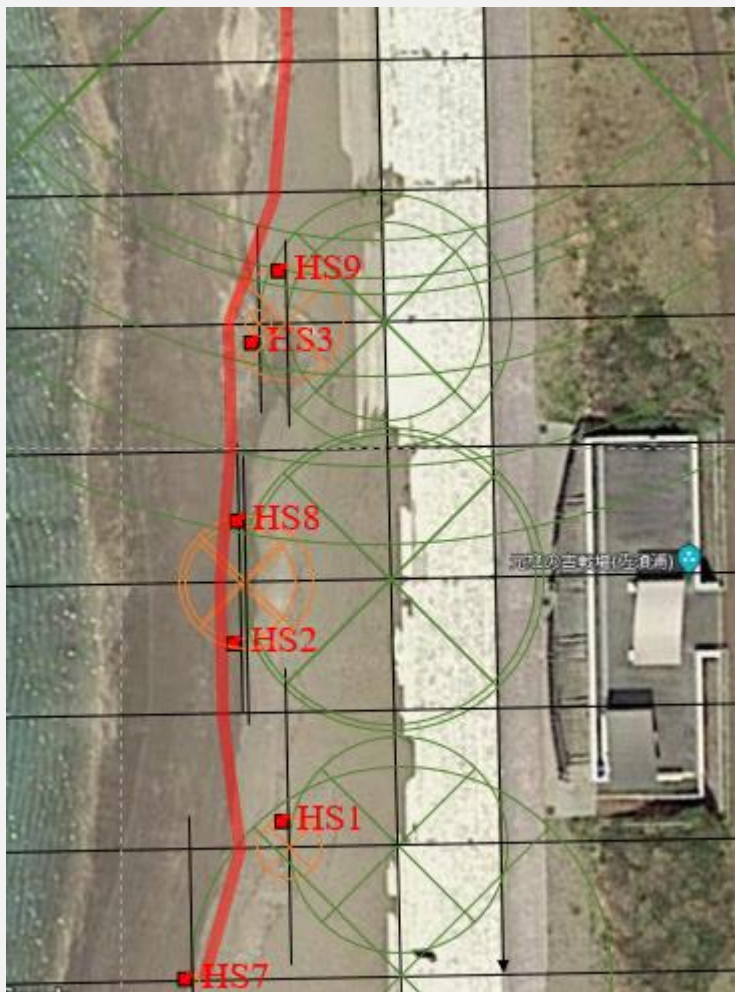
重量測定



撮影・計数



- 測量結果から試料採取面を地図起こしするぞ
- MPsの重量を, 円の大きさに示すのも良いな



(Google, ©2022 Maxar Technologies)

図形の知識を駆使して地図起こし

MPs重量を円の大きさに表す

第1部：現場調査法の開発



- Q1. 私たちでも測量できるの？
- Q2. 水に浮かないMPsはどうするの？
- Q3. どこまで掘ればいいのか？
- Q4. 水に浮かぶ他のものはどうするの？
- Q5. MPsを正しくはかれるの？



とても良い質問じゃな！
良い質問ができることは、能力が高い
証拠じゃ！

実は質問を考えたのもワシじゃが・・・

Q1. 私たちでも測量できるの？



A1. 君達でもメジャーと段ボールで
意外と正確に測量できる

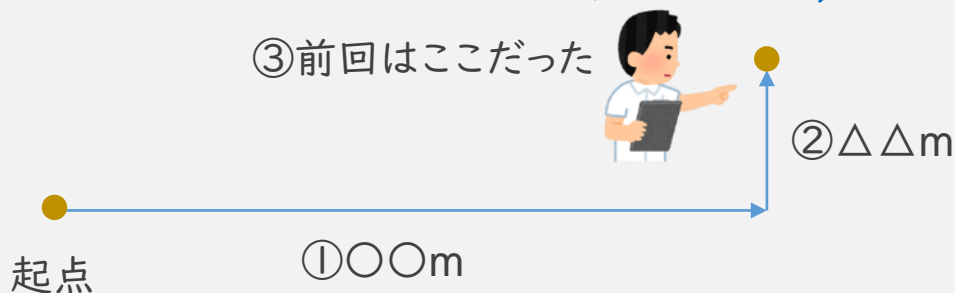
正確に言うと：

訓練を受けていない人でも、メジャーと段ボールという
簡単な用具を使用して20 m程度の距離の測量を
複数回行くと、ずれの7割は20 cm程度の範囲に収まる。

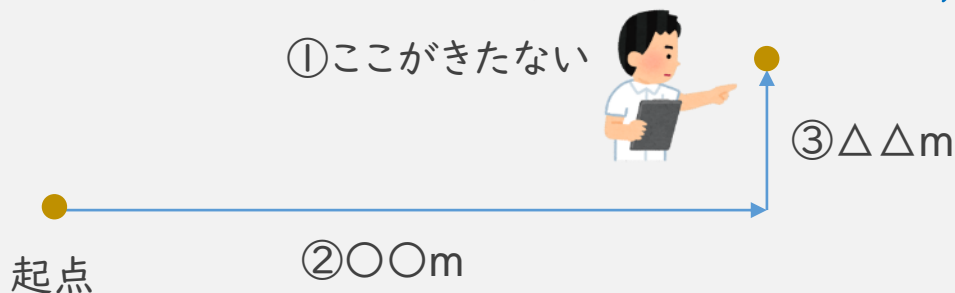


測定の目的は2つあるぞ

1. 前回の調査地点と同じ位置で調査したい (定点調査, 測量後杭打)



2. 今回調査地点とした場所を記録したい (ホットスポット調査, 杭打後測量)



50 mメジャー:2000円



例えばコンクリート道路の目地を延長するように
1本目のメジャーを伸ばす

10 mメジャー:1000円
段ボール:0円



段ボールを置いて直角を測り、
2本目のメジャーを伸ばす
杭打後測量なら記録する(終)

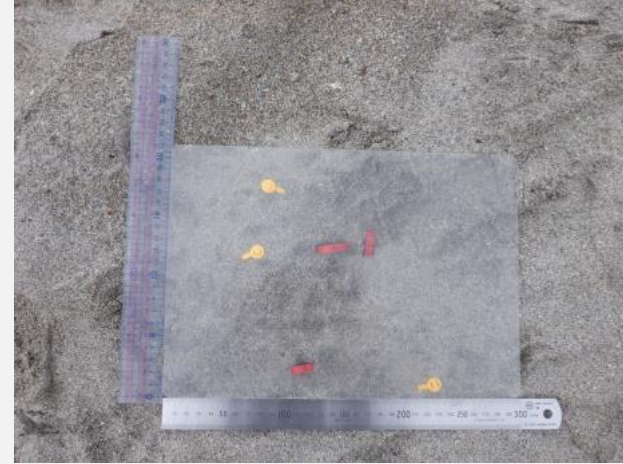


杭

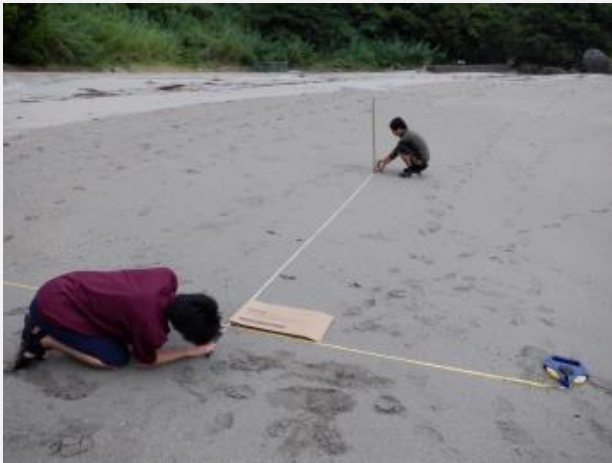
測量後杭打なら杭を打つ

20 m位の距離で6回繰り返しを2セットずつ試した

1. 前回の調査地点と同じ位置で調査したい(定点調査, 測量後杭打)

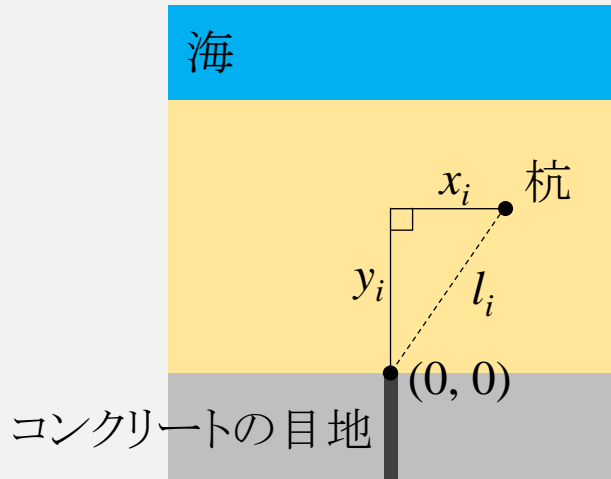


2. 今回調査地点とした場所を記録したい(ホットスポット調査, 杭打後測量)

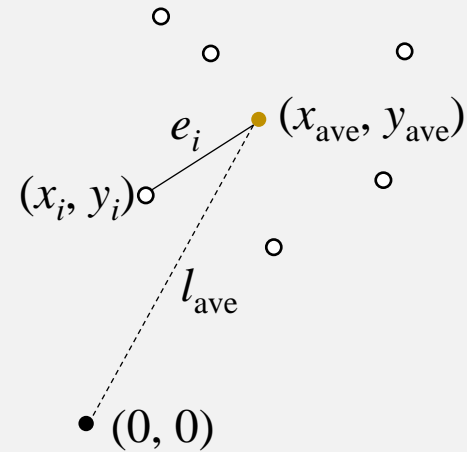




6つの測定値から平均と変動係数を計算したぞ



コンクリートの目地を起点として、杭の位置を x と y で表す

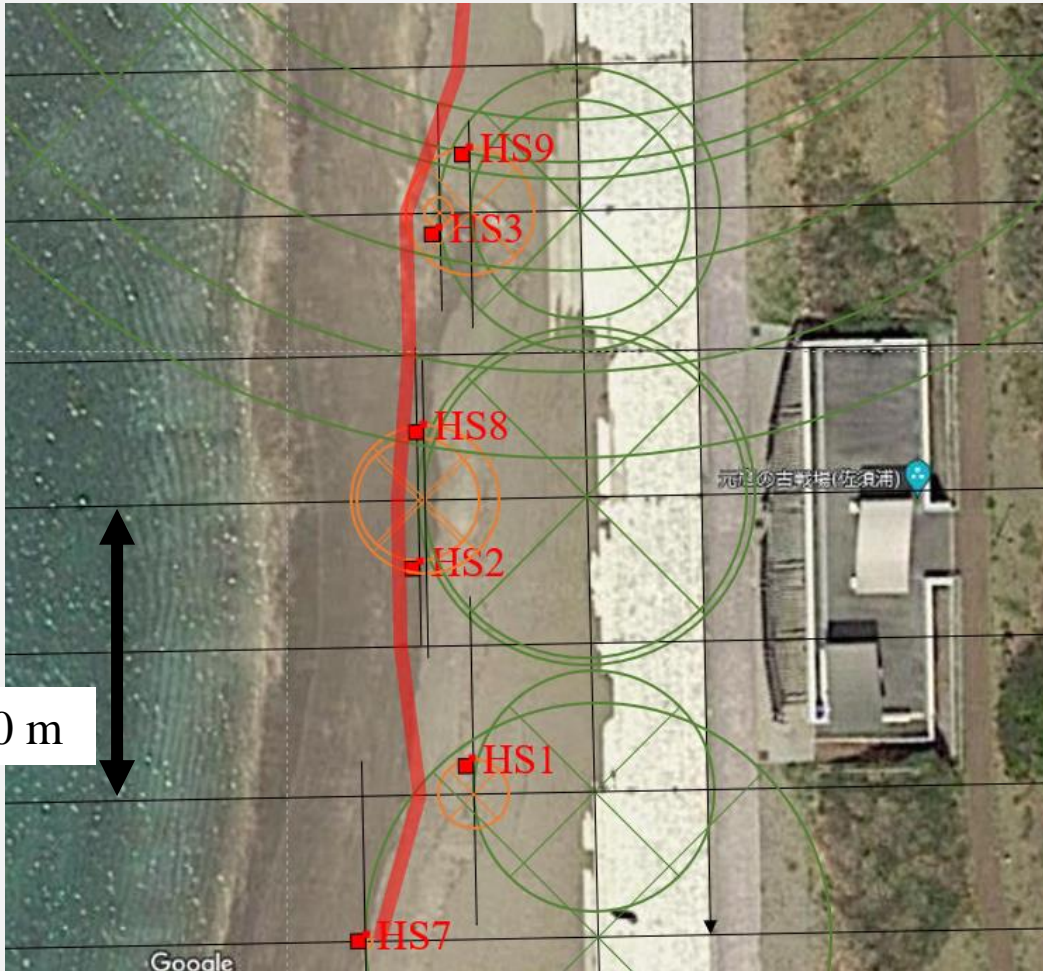


6回測定を繰り返して得られた点○と平均座標●
起点●—平均座標●の距離 l_{ave} と
平均座標●—各座標○の距離(誤差) e_i から
変動係数を得る



測量後でも杭打後でも、変動係数は1%程度じゃ。
20 m位の距離なら、 $20 \times 1 / 100 = 0.2 \text{ m}$ (20 cm) 以内でずれている
測量値が7割程度(正規分布仮定)となることを意味するぞ。

このように地図起こしているが、10点中7点は20 cmもずれていないと自信をもって言えるのじゃ



(Google, ©2022 Maxar Technologies)

君たち勘違いし始めているかも知らんが、10万円以上の専用の測量機器を買ったって誤差はあるぞ？
スマホGPSの精度は数m (GPS.GOV, 2000) じゃから勝ったな！

Q2. 水に浮かないMPsはどうするの？



A2. 水に浮かないMPsは少ないから、
無視して良い

正確に言うと：

砂に含まれるMPsのうち、海水（密度 1.03 g/cm^3 ）では回収できず、重液（最低密度 1.33 g/cm^3 ）によってのみ回収できるMPsは11%しかない。



現場は暑かったり寒かったり, また遠征時では特に時間が限られているから, 手っ取り早く試料採取したいんじゃ。

- 既往の研究で紹介されている, ふるい分けして目視選別は時間がかかるぞ
- それにふるい下を廃棄するなら, ふるい下サイズのMPsを無視していると思う

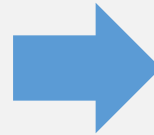
- だから海水や水道水で浮上選別するのが早いと思ってる
- でもそうすると, 「**水に浮かないMPsはどうするのか**」という問題が発生するのじゃ



海水に浮くMPsを採取しているのだから、浮かないMPsを
どうするのか、と当然思うじゃろうな



MPsを含む砂を採取し、海水に入れる



MPsは浮かんでいるように見えるが、
本当に浮かないMPsは無いのか



海水で浮かぶMPsを採取後に、塩カルを入れて
重いMPsを無理矢理浮かせたぞ



海水での浮上物を採取



採取後



塩化カルシウムを入れて重液にする

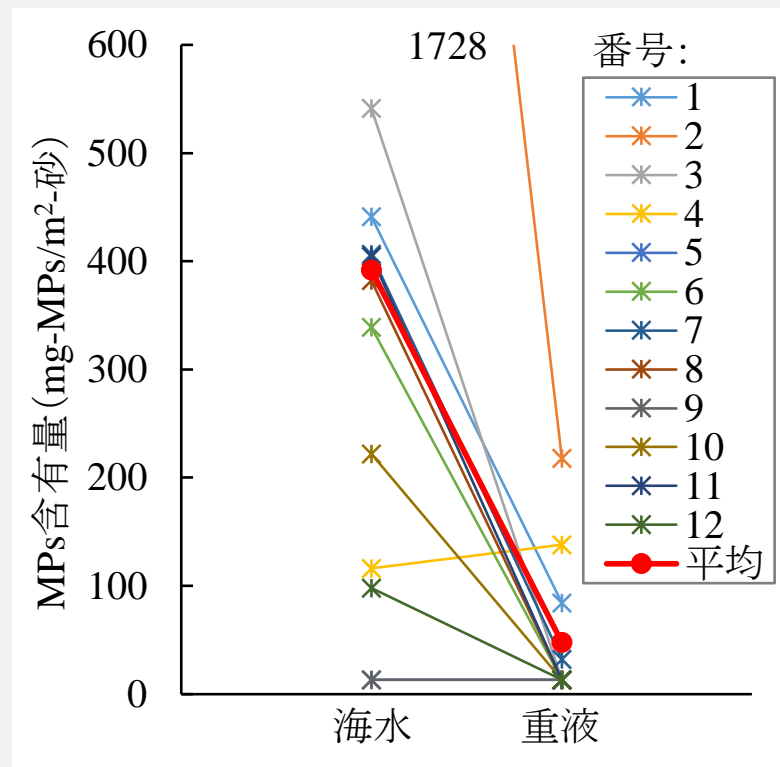


追加で浮上したMPsを採取



大変だったが、12回も繰り返したぞ。

- 砂に含まれるMPsのうち、海水（密度 1.03 g/cm^3 ）では回収できず、重液（最低密度 1.33 g/cm^3 ）によってのみ回収できるMPsは11%しかない。
- すなわち、MPsの9割くらいは海水で浮くのじゃ。



支持: Sewwandi (2022), Prarat (2022), Zahari (2022), Rabari (2022), Nabhani (2022), Nhon (2022)

Q3. どこまで掘ればいいのか？



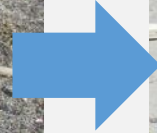
A3. 深いところまで砂を掘らなくても、
表面の砂だけとれば良い

正確に言うと：

砂の表層0.5 cmの採取によるMPs含有量調査であっても、
その下50 cm程度まで採取したときの半分以上のMPsの
含有量を説明できる。



こんなにプラスチックがあっても



表面の0.5 cmの砂をはぐだけで

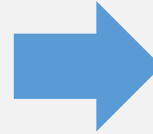
こんなにきれいになる

面倒なのでこれ以上掘りたくない!





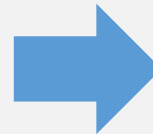
正方形の柱を残して砂を掘る



5 cm深さごとに印をつける



下敷きで丁寧に5 cmずつ砂を採取

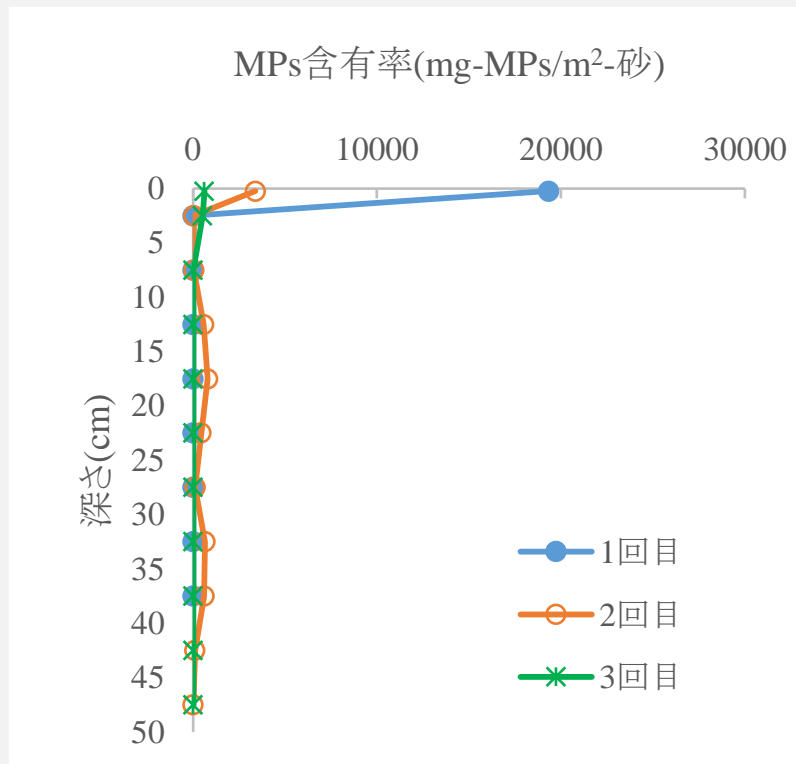


深さごとにMPsを採取



かなり大変だったので、3回しか繰り返せなかった。

- 表層 (0~0.5 cm) のMPsは, 全体 (0~50 cm) のMPsの半分以上を占めた
- 3回の合計量で表現してよいなら, 表層だけで8割のMPsがあったぞ。
- 対馬と五島では表層と表層直下も調べたが, 表層だけで95%以上だったぞ。



支持: Duncan (2018), Sewwandi (2022), Nhon (2022)
不支持: Turra (2014), Sewwandi (2022)

Q4. 水に浮かぶ他のものはどうするの？



A4. MPsと一緒に木くずも浮くが、
煮るとだいたい沈むぞ

正確に言うと：

回収したMPsを目視選別せずとも、煮沸後の浮上物をMPsとみなす方法（煮沸法）を採用してもよい。軽石混入の心配がなければ、MPsの過剰な見積もりは約1.5倍に収まる。

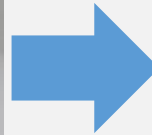


- 海水に砂を入れると, MPsと一緒に木くずなども浮くぞ
- 池や沼の水面に木の枝が浮いてたまっているのを見たことがあるか? どちらかというとなんか沈んでおらんか?
- 木の真の密度は 1 g/cm^3 以上なので, 本当は沈むはずなのじゃ
- 乾いているから密度が低いと考えて, 煮てみたぞ

これは最もうまくいった写真なので, 実際は木も少し沈まずに残る



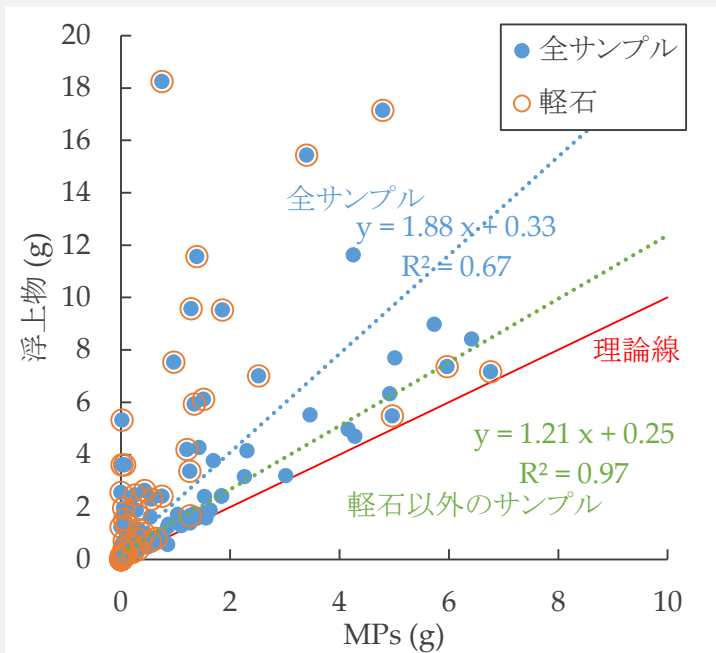
ビーカーに入れた浮上物



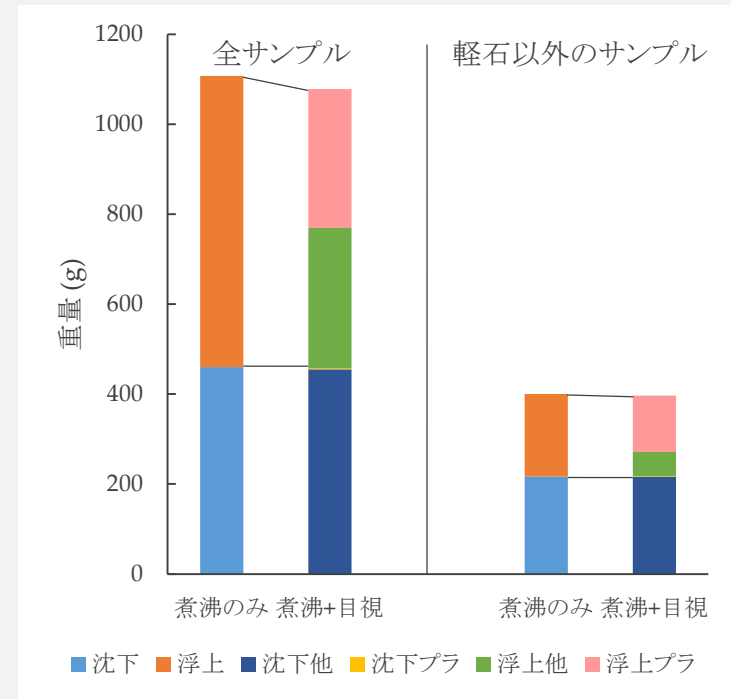
煮沸後, 木くずなどは沈む



- 煮沸後にMPsは浮いたままで木くずは沈むことが多かった
- 回収したMPsを目視選別せずとも、煮沸後の浮上物をMPsとみなす方法(煮沸法)での過剰な見積もりは約1.5倍に収まるぞ
- ただし、軽石がくせ者じゃ。じゃまでどうにもならん。



だいたいMPsと浮上物が一致している？



軽石がなければ、浮上物はMPsの1.5倍

Q5. MPsを正しくはかれるの？



この質問は、以下の2つから構成されると考える。

Q5-1. MPsが100あるとして、測定したらいくつになるの？

Q5-2. どのくらいまで少ないMPsがはかれるの？

今回は2番目だけ答えるぞ



古いMPsを考えると、1番目は難しい・・・



A5. 紹介する方法では、最小で
10 mg程度まではかれる

正確に言うと：

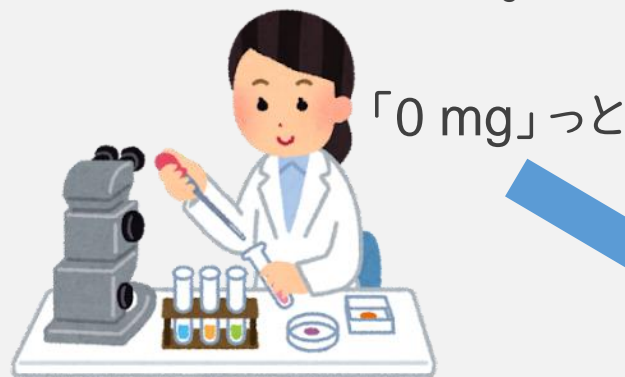
変動係数20%を許容するなら、13 mg-MPs/m²-砂が
定量下限値となる。



測定可能量の最小値が分からないと:

- 低い測定値を信じてもらえない
- 「0 mg」では複数の低い測定値の平均値がおかしくなる
- 「0 mg」では対数軸など計算できない場合が出てくる

全然MPsが無いし、はかりに乗せても0 mgだよ



そもそもこの人は、「3 mg」程度の量をはかれるの？



この人が10 mgまではかれるとする。
測定結果15 mg, 0 mg, 0 mgのときの平均値5 mgはおかしくない？
だって、0 mgじゃなくて7 mgかもしれないじゃない。

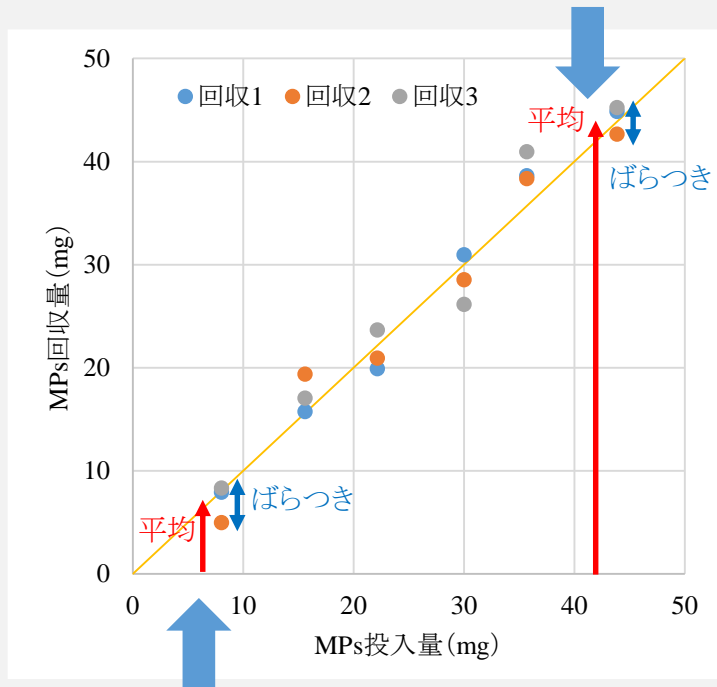
この様に考えるぞ:

- 自分で量が分かっているものを繰り返し測定してもばらつく
- 普通の量だと平均に対するばらつきは小さいが、少ない量だと測定が難しくなってきて、平均に対するばらつきが大きい
- 自分で「許せるばらつき具合」を決めておいて、それ以上ばらつくなら、「そこまでしか測定してはいけない」とする

Mermet (2008)

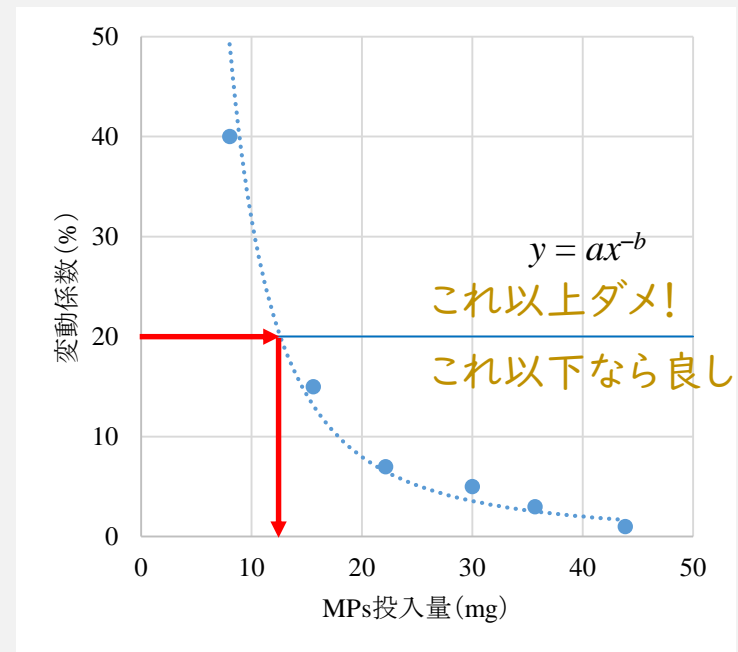


平均に対してばらつきが小さい



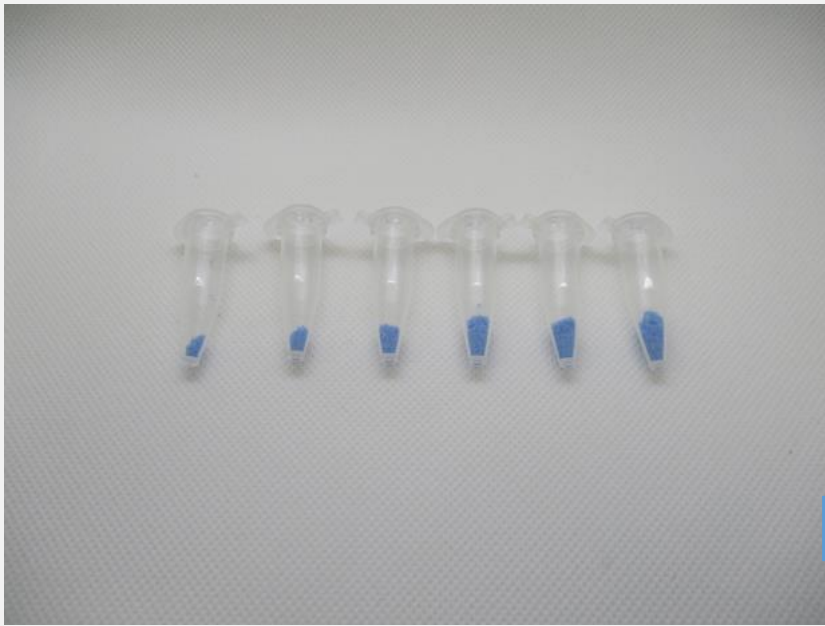
平均に対してばらつきが大きい

縦軸を「ばらつき / 平均」をもとにした値にする



ばらつき20%まで許すなら、10 mg強までは測れると言っても良い

プラスチックの粉を作るのは大変!



複数の重量のMPs試料を準備



きれいな砂に添加

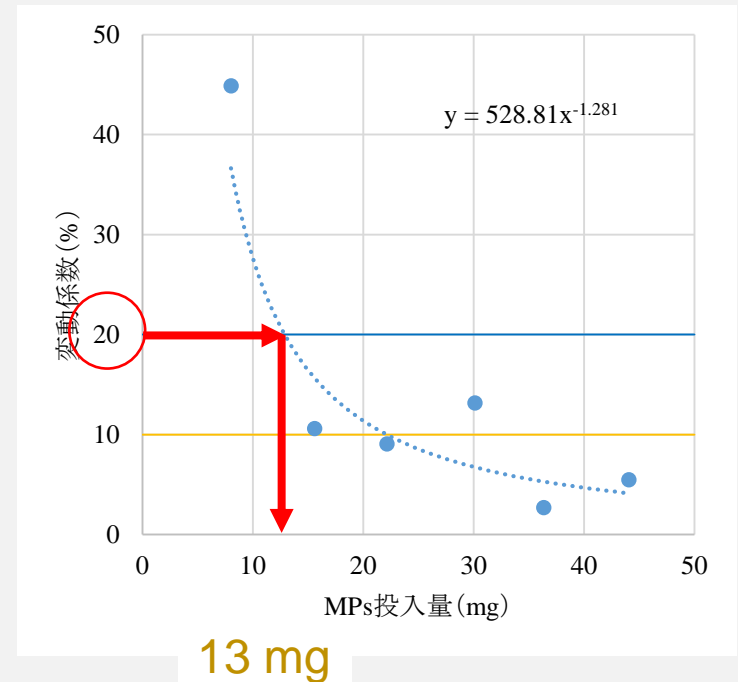
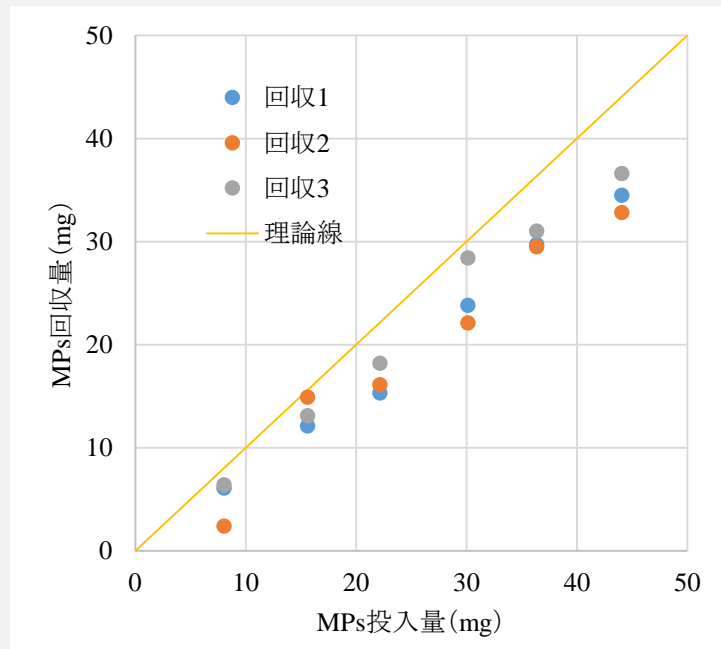


回収・測定



意外と大変だったので、3回しか繰り返せなかった。

- 変動係数20%を許容するなら、13 mg-MPs/m²-砂が定量下限値となるぞ。
- この研究全体で、測定値が13 mg未満の時は、13 mgとみなしたぞ。
- ばりばりプラスチック製の調査道具を使っているのに、この位の量までなら心配ないということでもある。



第2部：現場調査とその結果

省略します

- 海岸へのMPs漂着速度
- 調査対象地の平均MPs量±標準誤差

どうじゃ?できそうじゃろ?



近くの海岸も
汚れているかな?



やろうやろう!

調査だけでなく, 調査法の改良にも
いっしょに取り組もう!