

下水汚泥焼却灰の低コストで高品位肥料化技術 ーゼロエミッションプロセスの実装化ー

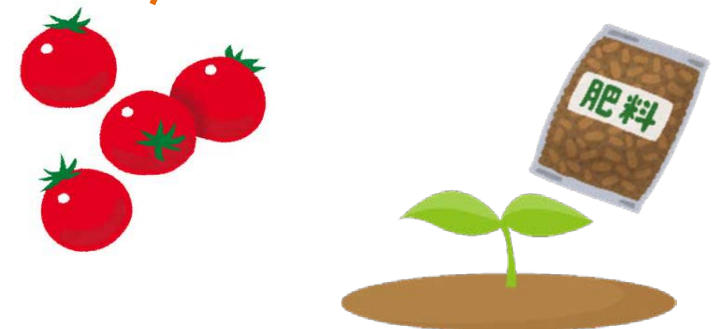
2024年3月22日

工学院大学
先進工学部 環境化学科
金 熙濬

リンの用度

肥料 3 大要素 : N、**P**、K

食料を育てるためにリン系肥料が必要



リン系肥料を国内資源でまかなうためには



世界的なリンの現状

リンは全量を輸入に依存

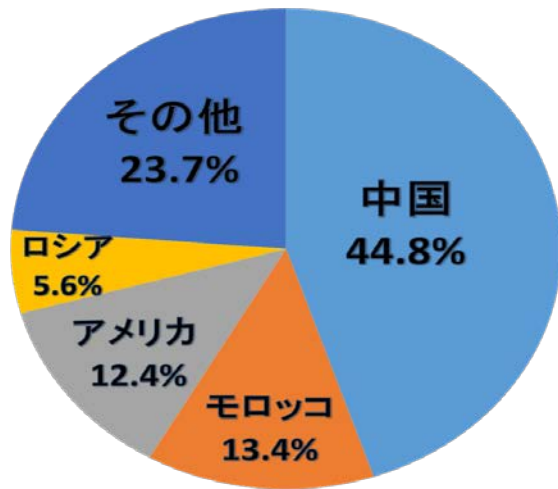


fig. 1 リン鉱石産出国

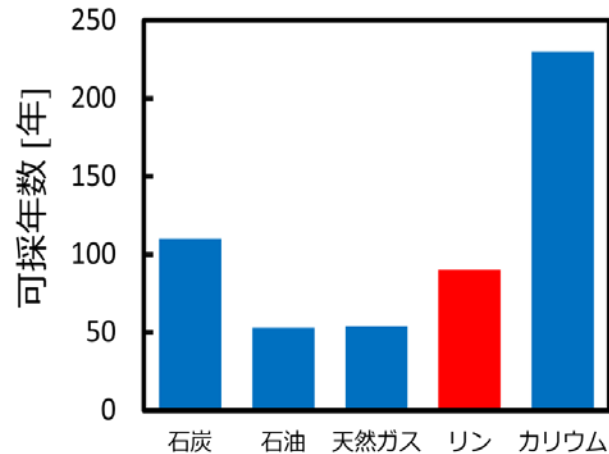


fig. 2 枯渇性資源の可採年数

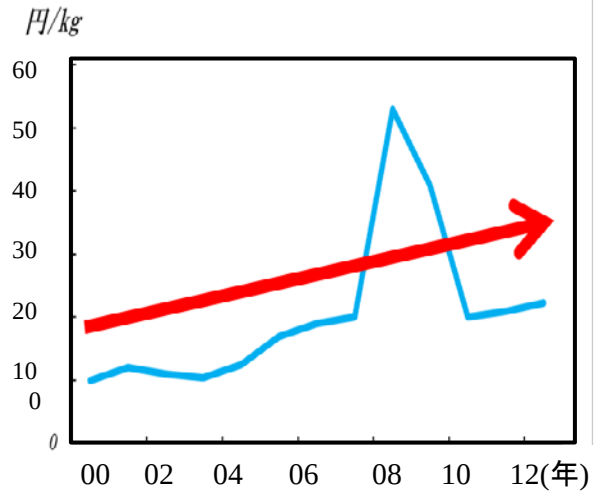


fig. 3 リン輸入価格の推移

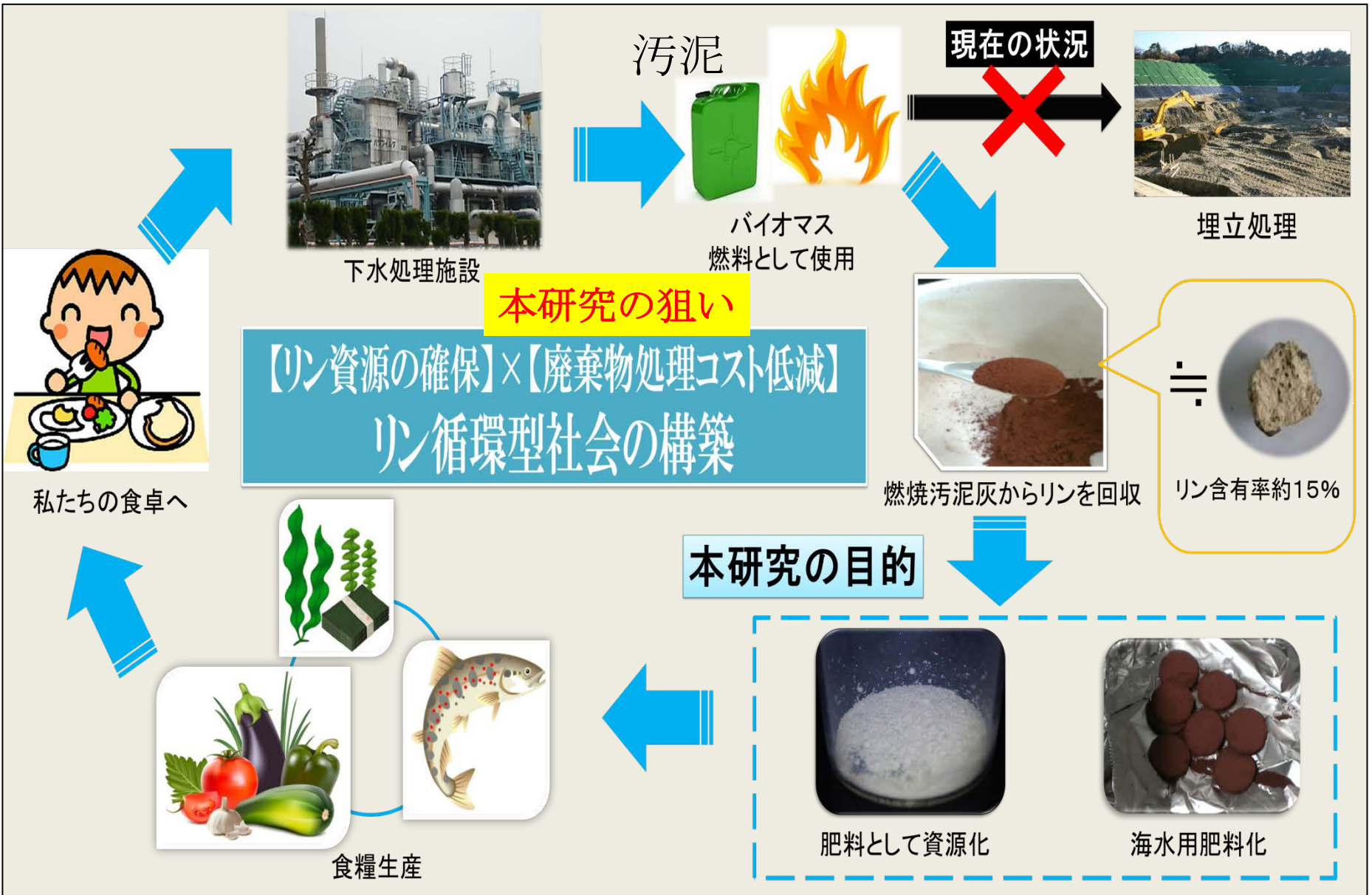
国内での天然資源なし

可採年数約90～150年

価格は上昇傾向

国内でリンを確保することが急務
→ 戦略的な資源

汚泥灰からリン回収とリン循環社会構築



研究目標

利用への問題点：重金属含有量が高い



fig. 4 汚泥焼却灰

リン含有率15～30%
(リン鉱石と同等)

肥料化のためには

リン化合物の回収

金属・重金属の除去

含有物	含有量[mg/kg]
リン	6.4×10^4
鉄	3.5×10^4
アルミニウム	2.1×10^3
塩化物イオン	67
全クロム	1.1×10^2
カドミウム	2.4
鉛	96
ヒ素	3.5×10^2
ニッケル	50
総水銀	0.010未満

Fig. 6 成分別汚泥焼却灰組成
(「下水汚泥分析方法」による)

先行研究・実用例



アルカリ溶出法を用いた 肥料化プラント(岐阜県)

- 重金属の含有量が少ない
(肥料基準値を満たしている)
- × リンの回収量が少ない(約30-40%)
- × 高コスト
- × リン回収後の残渣利用の問題



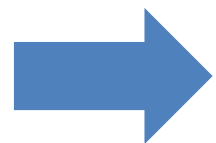
実用・製品化された肥料

汚泥焼却灰からも残渣重金属を除去
しつつより多くのリンを回収可能な

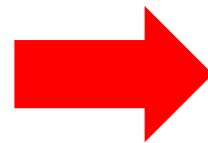
経済性のある
肥料化プロセス開発が必要

研究結果

二段階溶出法



酸溶出法



アルカリ溶出法



汚泥燃焼灰

最終析出物

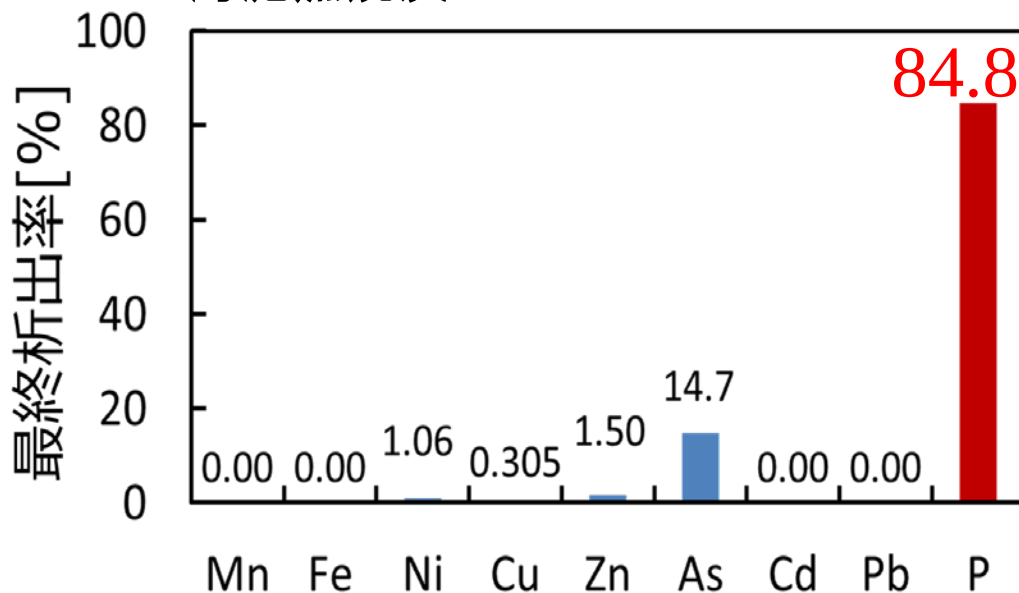


fig.11 各元素の最終回収率

汚泥燃焼灰から

- ① 約**85%**リン回収に成功
- ② 重金属除去に成功
(肥料基準値以下)

濃学部農場への施肥実験と収穫祭

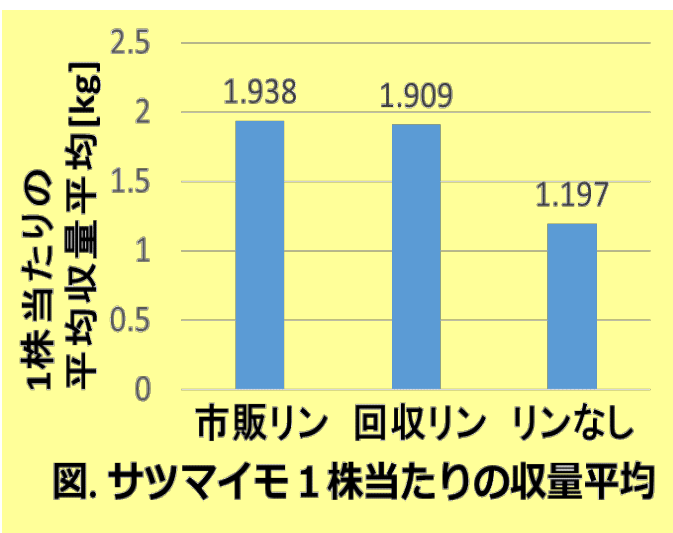
協力研究者：新潟大学
大竹憲邦先生（農学部）
狩野直樹先生（工学部）
スマドミ皆様



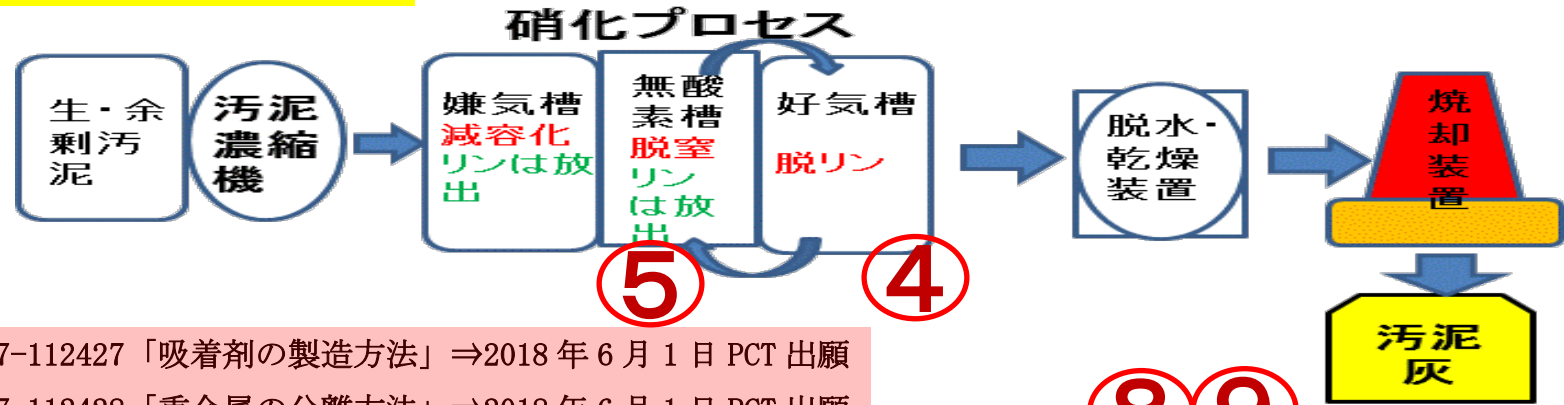
NとKは同量



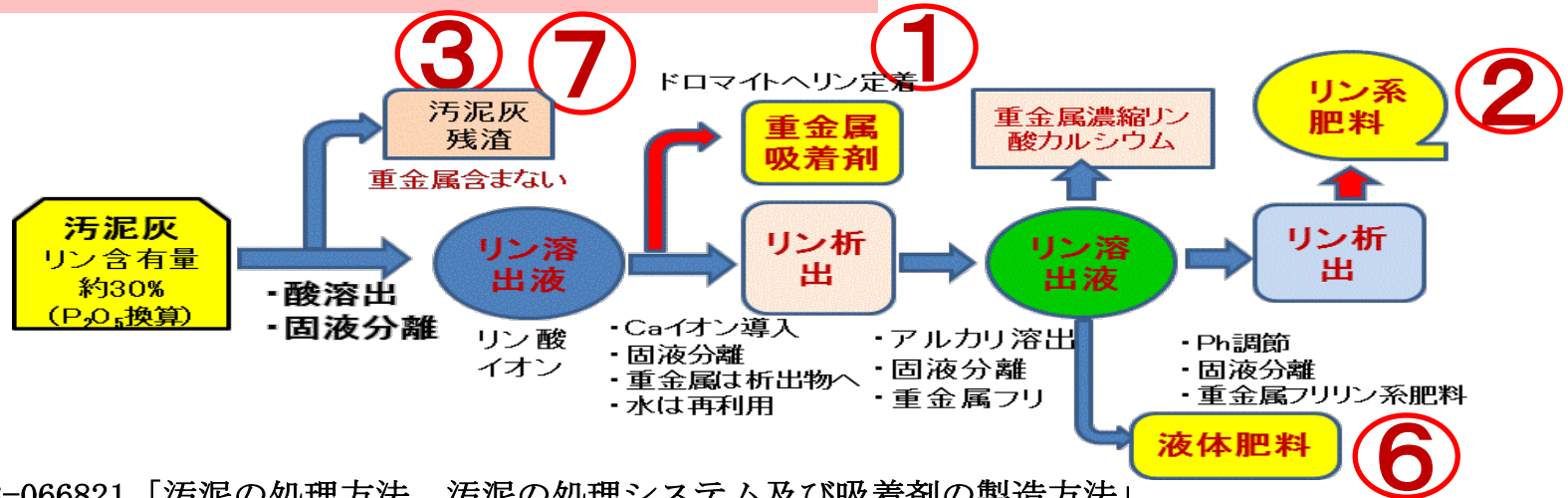
スマドミ&農学部
とのふれあい



知的財産権の状況 (下水汚泥処理プロセス)



- ①特願 2017-112427 「吸着剤の製造方法」⇒2018年6月1日 PCT 出願
- ②特願 2017-112428 「重金属の分離方法」⇒2018年6月1日 PCT 出願
- ③特願 2018-046656 「自然水用肥料の製造方法および自然水用肥料」



- ④特願 2018-066821 「汚泥の処理方法、汚泥の処理システム及び吸着剤の製造方法」
- ⑤特願 2018-118313 「汚泥の処理方法および汚泥の処理システム」
- ⑥特願 2018-215968 「液体肥料」
- ⑦特願 2018-232023 「汚泥灰からのリン回収後の汚泥残渣の利用方法」
- ⑧特願2019-097926 「処理方法」 汚泥灰の処理方法
- ⑨特願2021-114941 「処理方法」 廃棄物ゼロ型リン回収方法
- ⑩特願2021-143689 「処理方法」 廃棄物ゼロ型リン鉱石からリン回収方法

海の肥料開発

特許7320310 特許7467798

研究目標

- 1) 重金属が除去された汚泥焼却灰残渣の高度利用
- 2) 海の植林によるCO₂削減（ブルーカーボン）
- 3) 海の貧栄養化の解決（海の砂漠化防止）
- 4) 漁村の所得増大と雇用機会の提供

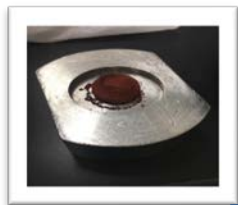
発想点：リン回収後の汚泥焼却灰残渣には3大海の肥料成分（Si,P,N）中で、SiとPが豊富、さらにFeも豊富

問題点：肥料成分が海水には溶解しない

汚泥焼却灰残渣：汚泥焼却灰を2Molの塩酸で2時間処理した後に残る残渣



目標



海洋肥料



磯焼け



ガラモ場



アマモ場

新潟県も磯焼けによる藻場の減少がある

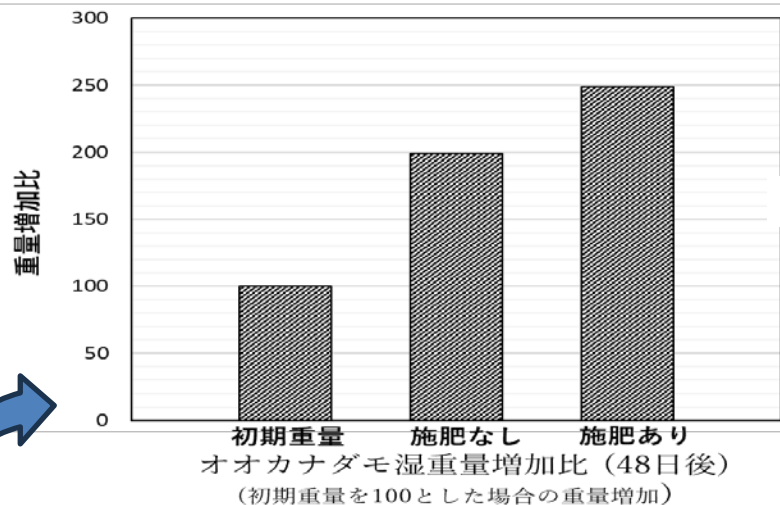
磯焼けの原因は鉄不足、栄養塩不足など

鉄含有海洋肥料の施肥で磯焼け対策

漁業従事者と海洋肥料の施肥実験



オオカナダモによる施肥効果の検証



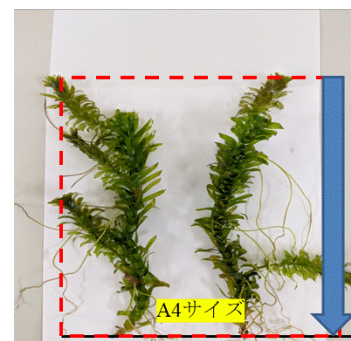
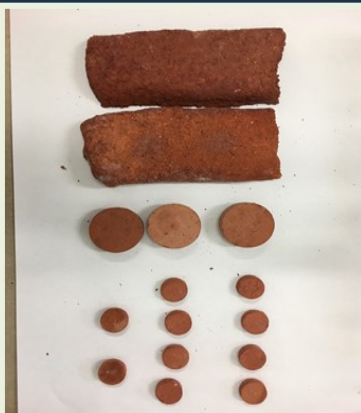
1日目

48日目

■ 生育48日後の比較で、施肥の場合が施肥なしの比べ1.25倍湿重量が増加

特許7320310 特許7467798

開発した海洋肥料
の一例



施肥なし



施肥あり

施肥効果の継続時間の推定

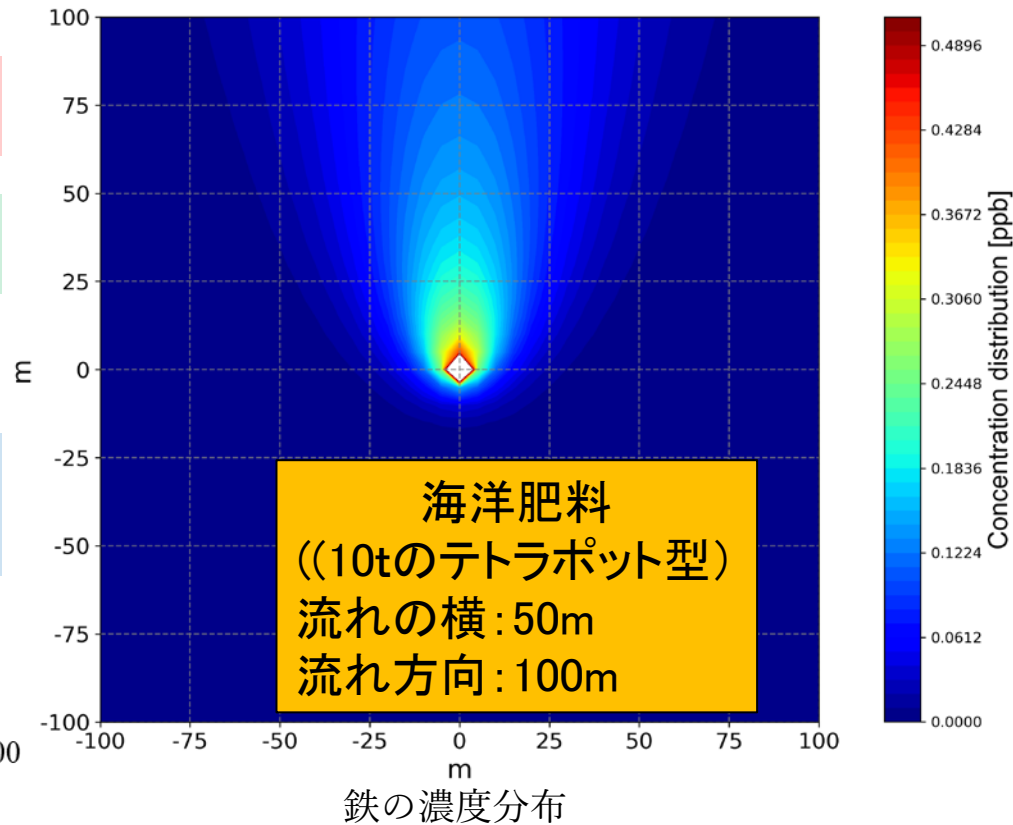
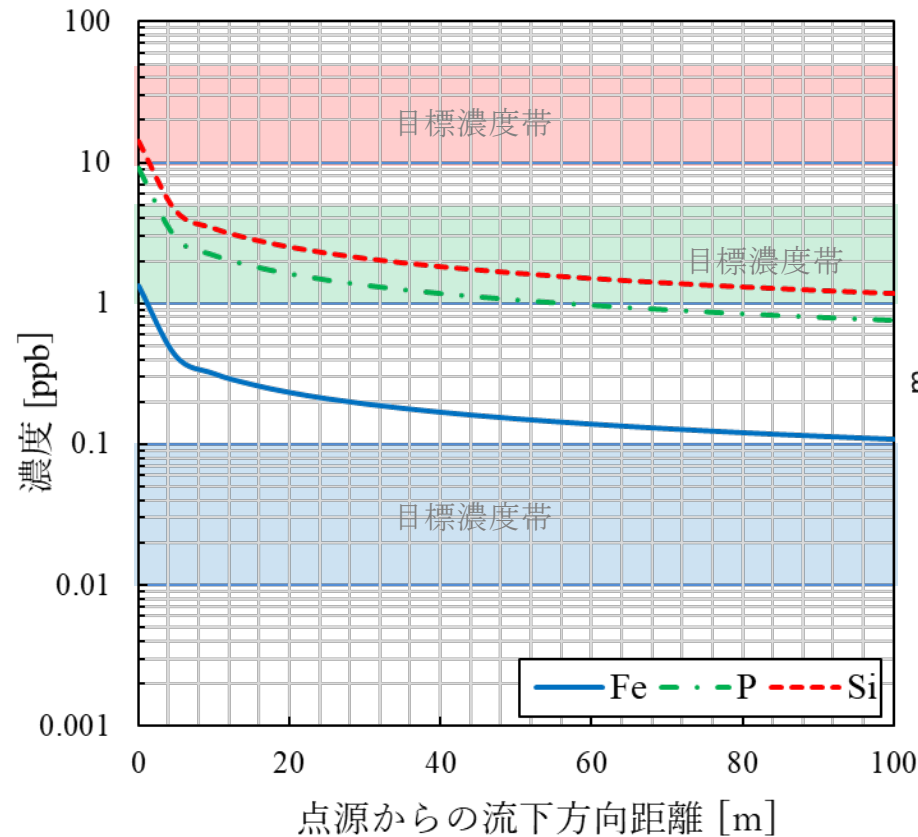
各原料における施肥時間の推定

	主原料	120目溶出速度 mg / g・day	1gあたり含有量 mg	推定継続時間 Year
Fe	汚泥灰残渣	7.5×10^{-3}	56.1	20.4
	製鋼スラグ*	5.8×10^{-5}	—	> 10
	石炭溶融灰*	9.4×10^{-3}	> 50	14.6
P	汚泥灰残渣	5.2×10^{-2}	22.1	1.2
Si	汚泥灰残渣	8.1×10^{-2}	> 250	8.5

*文献値より

- 鉄：汚泥灰残渣からの溶出は約20年、少なくとも数年以上に鉄供給源として使用できる可能性が高い
- リン：溶出継続時間は約1~3年。抽出量を制御することが出来るため、目的に応じて施肥持続時間を制御可能
- ケイ素：溶出継続時間は最大で約8.5年

拡散計算による施肥材投入効果の検討



目標濃度帯はレドフィールド比(植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩の比率)から計算

Fe : 流下方向100m以上にわたって目標濃度以上となり、低鉄分濃度水域で有効

P : 流下方向約60mで目標濃度1ppbを上回る

Si : 流下方向100mまでで1ppb以上の上昇

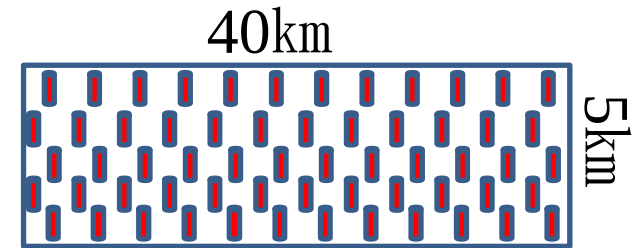
将来計画：海の農場建設：ワカメ5万トン生産/年(岩手県資料参考)
=>カーボンクレジット：8000～72000円/t
(4（ワカメ）～36億円/年間)

10トンのテトラポット型肥料

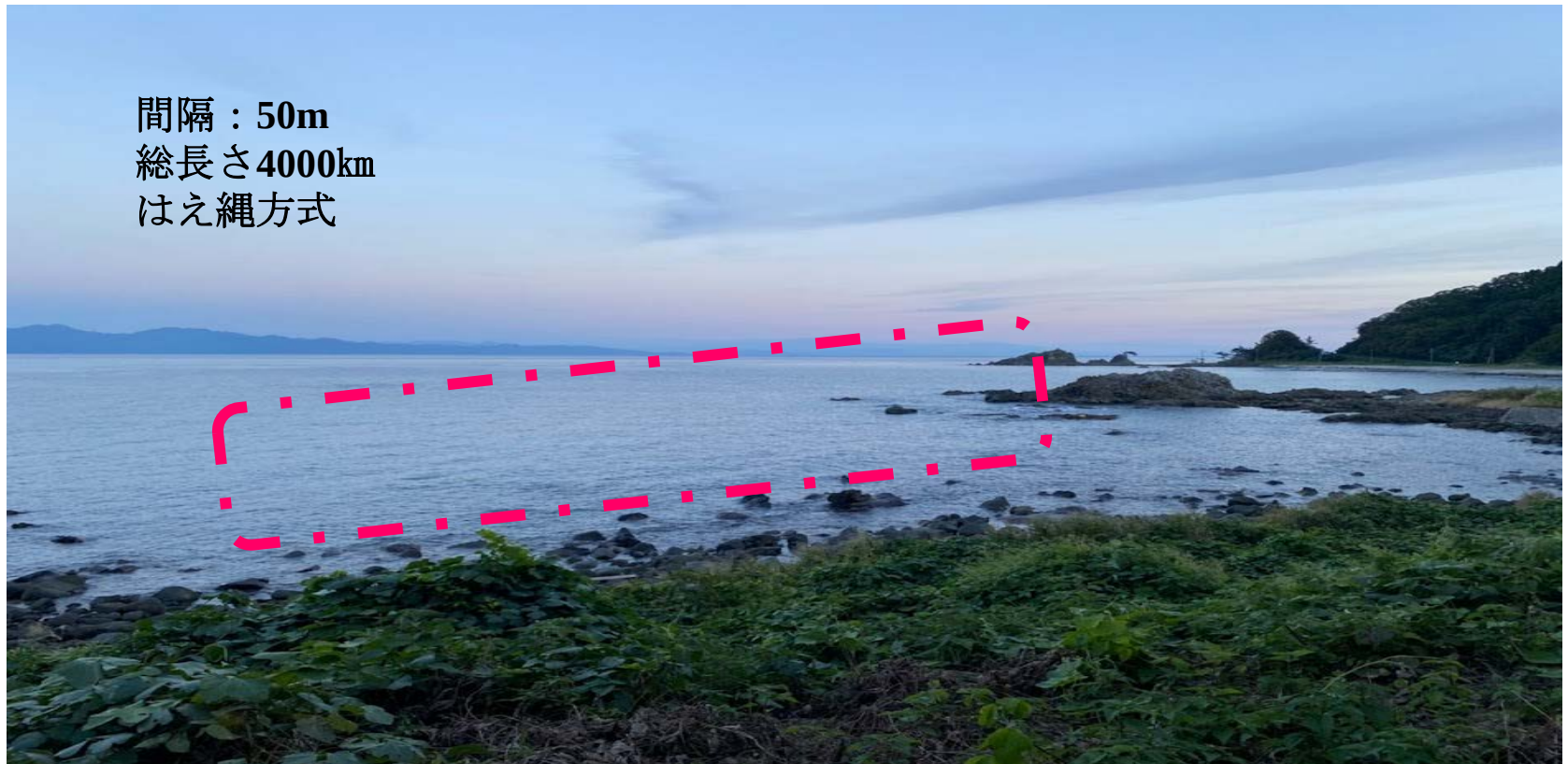
100m間隔で設置

100x200=20000個

【総20万トン、（肥料の量6万トン）】



間隔：50m
総長さ4000km
はえ縄方式



提供可能な知的財産権、又は共同研究希望分野 (下水汚泥・家畜廃棄物、有機物廃棄処理分野)

1. (汚泥) 焼却灰からリン回収
 - あ) 回収リンを肥料として提供方法
 - い) 回収リンを飼料 (栄養剤) として提供方法
2. 海の肥料
 - あ) P、Si、Feの提供
 - い) 一回施肥で10～50年間、栄養素持続供給
3. 汚泥や家畜廃棄物を用いて、メタン生産や堆肥化する時、重金属除去技術やリン回収技術の提供