

第11回 環境研究シンポジウム
水圏・海洋を巡る環境研究の最前線

海洋のリン循環に関する研究

鈴木 昌弘

産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門
海洋環境評価研究グループ

2013年11月13日

講演内容

1. リンとは？
2. リンの形態分別
3. 沿岸海域における陸起源有機態リン化合物の役割

火星での発見！ Curiosity finds Mars has the right stuff for life.

March 12, 2013

PASADENA, Calif. -- An analysis of a rock sample collected by NASA's Curiosity rover shows ancient Mars could have supported living microbes.

Scientists identified sulfur, nitrogen, hydrogen, oxygen, **phosphorus** and carbon -- some of the key chemical ingredients for life -- in the powder Curiosity drilled out of a sedimentary rock near an ancient stream bed in Gale Crater on the Red Planet last month.

探査ローバー "Curiosity"、火星の岩石から生命に不可欠な元素、炭素、窒素、硫黄、水素、**リン**、酸素を検出

講演内容

1. リンとは？

2. リンの形態分別

3. 沿岸海域における陸起源有機態リン化合物の役割

リンとは？ その1

- 地殻構成元素で11番目(一説には7番目)に豊富な元素である
- 生命の維持に欠かせない重要な役割を果たしている
 - ✓ 遺伝子を構成する**核酸(DNA, RNA)**
 - ✓ 細胞膜を構成する**リン脂質**
 - ✓ 細胞のエネルギー代謝をつかさどる**ポリヌクレオチド(ATP)**
 - ✓ 動物の骨・歯牙の主要成分(**リン酸カルシウム**=アパタイト)
- すべての海洋生物(原核生物からクジラまで)は生命の維持にリンを必要とする。

リンとは？ その2

植物プランクトン(A)と海水(B)中の元素の濃度

元素	A 生体内濃度 (g/100 g)	B 海水中濃度 (g/m ³)	B/A
Br (臭素)	0.0025	66	26,400
Cl (塩素)	4	19,300	4,825
Na (ナトリウム)	3	10,750	3,583
Mg (マグネシウム)	0.4	1,300	3,250
S (硫黄)	1.0	900	900
Ca (カルシウム)	0.5	416	832
K (カリウム)	1.0	390	390
As (砒素)	0.0001	0.02	150
Zn (亜鉛)	0.02	0.05	2.5
B (ホウ素)	0.002	0.01	2.5
Mn (マンガン)	0.002	0.01	2.5
Cu (銅)	0.005	0.01	2.0
Co (コバルト)	0.00005	0.00	2.0
O (酸素)	47	90.0	1.9
C (炭素)	30	28.0	0.93
N (窒素)	5	0.30	0.06
P (リン)	0.6	0.03	0.05
Si (ケイ素) ^{a)}	10	0.50	0.05
Si (ケイ素) ^{b)}	0.5	0.50	1.0

生物利用度の指標
高い値: 余裕あり
低い値: 枯渇気味

特に豊富な元素

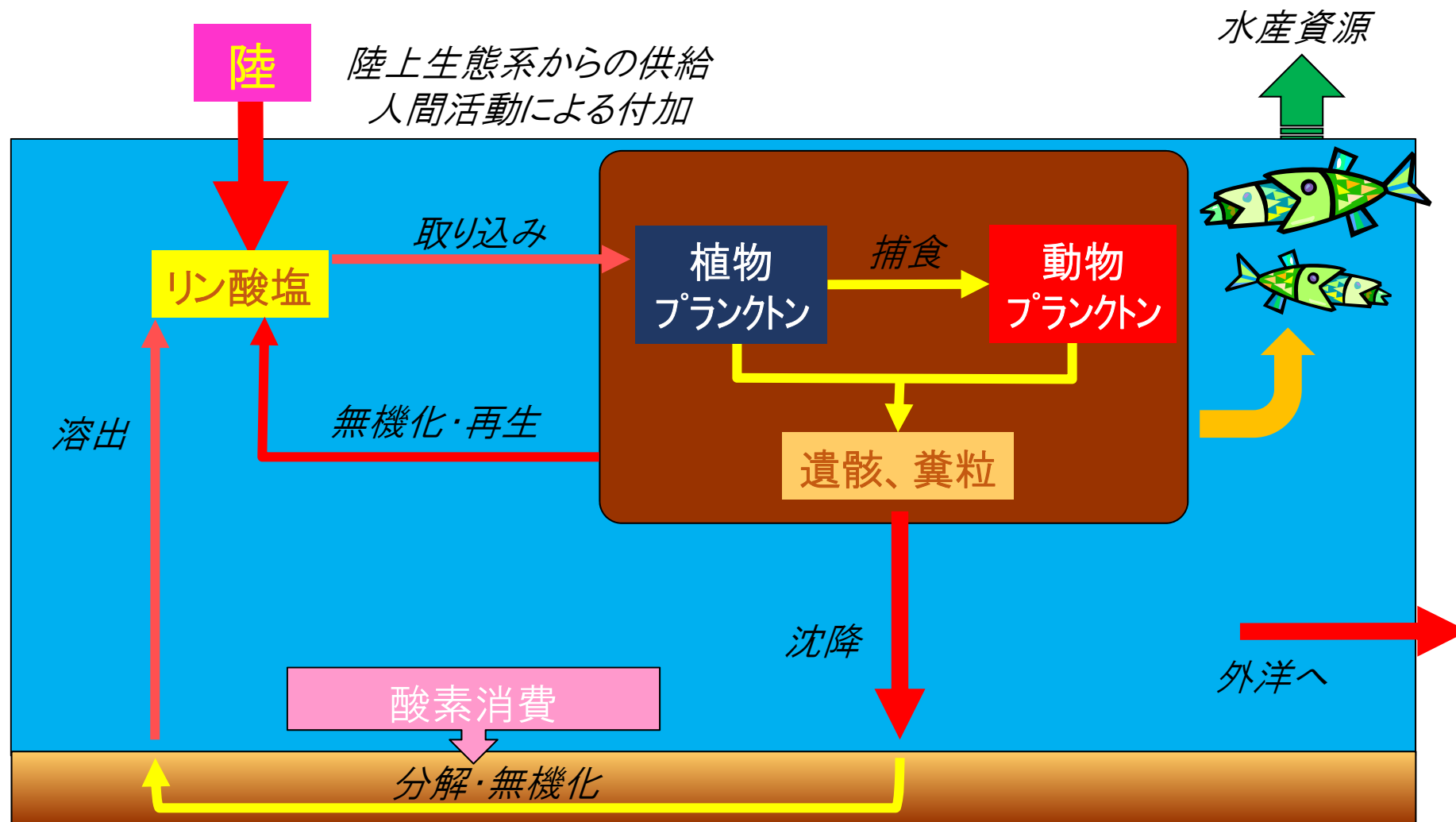
海水中に少ないが、量的には足りている

多量に必要なが、足りている

大変不足している！

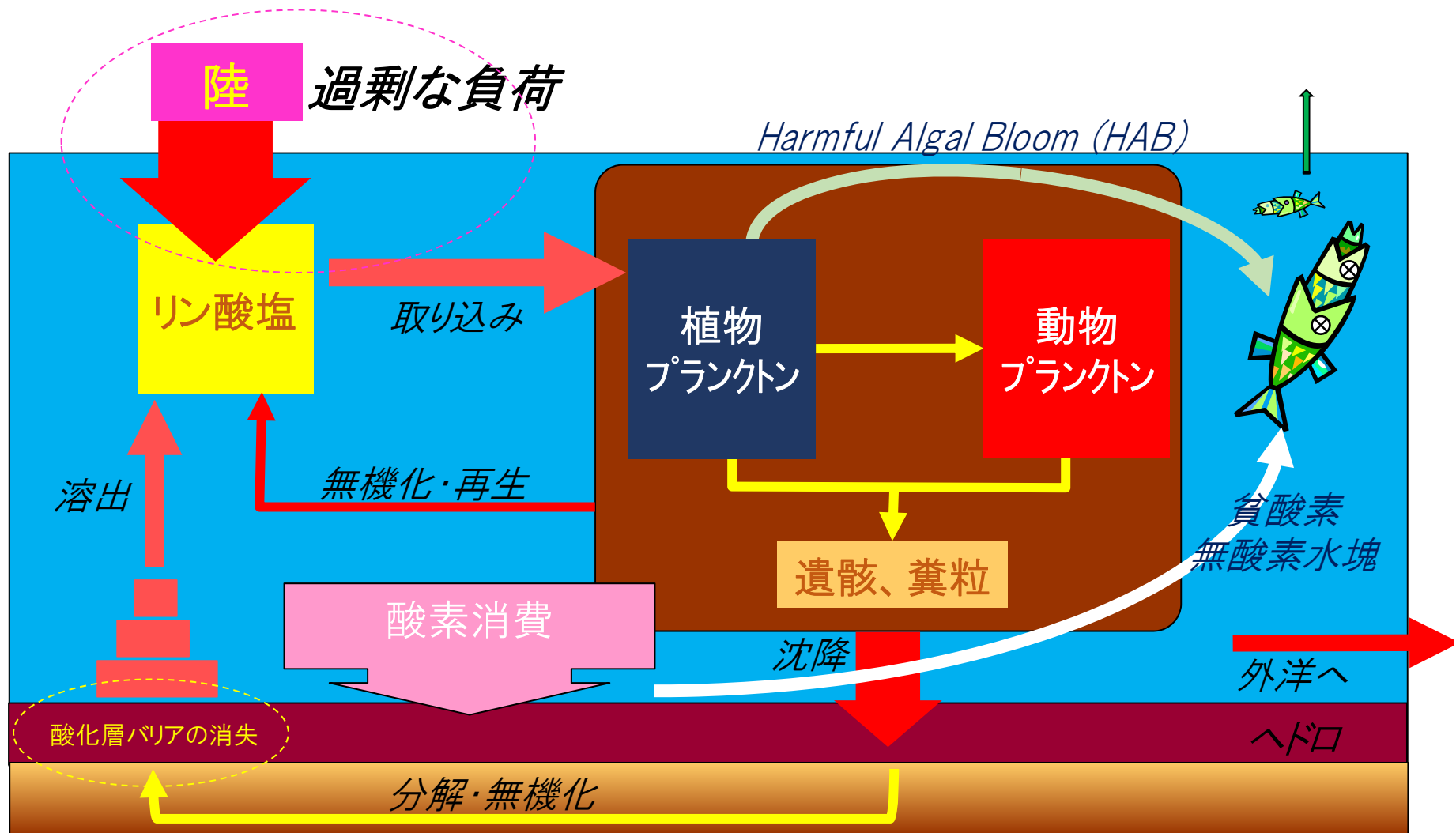
窒素(N)とリン(P)が海洋の光合成生産を制限する
最も重要な栄養塩である！

沿岸海洋生態系におけるリンの循環過程 健全な環境



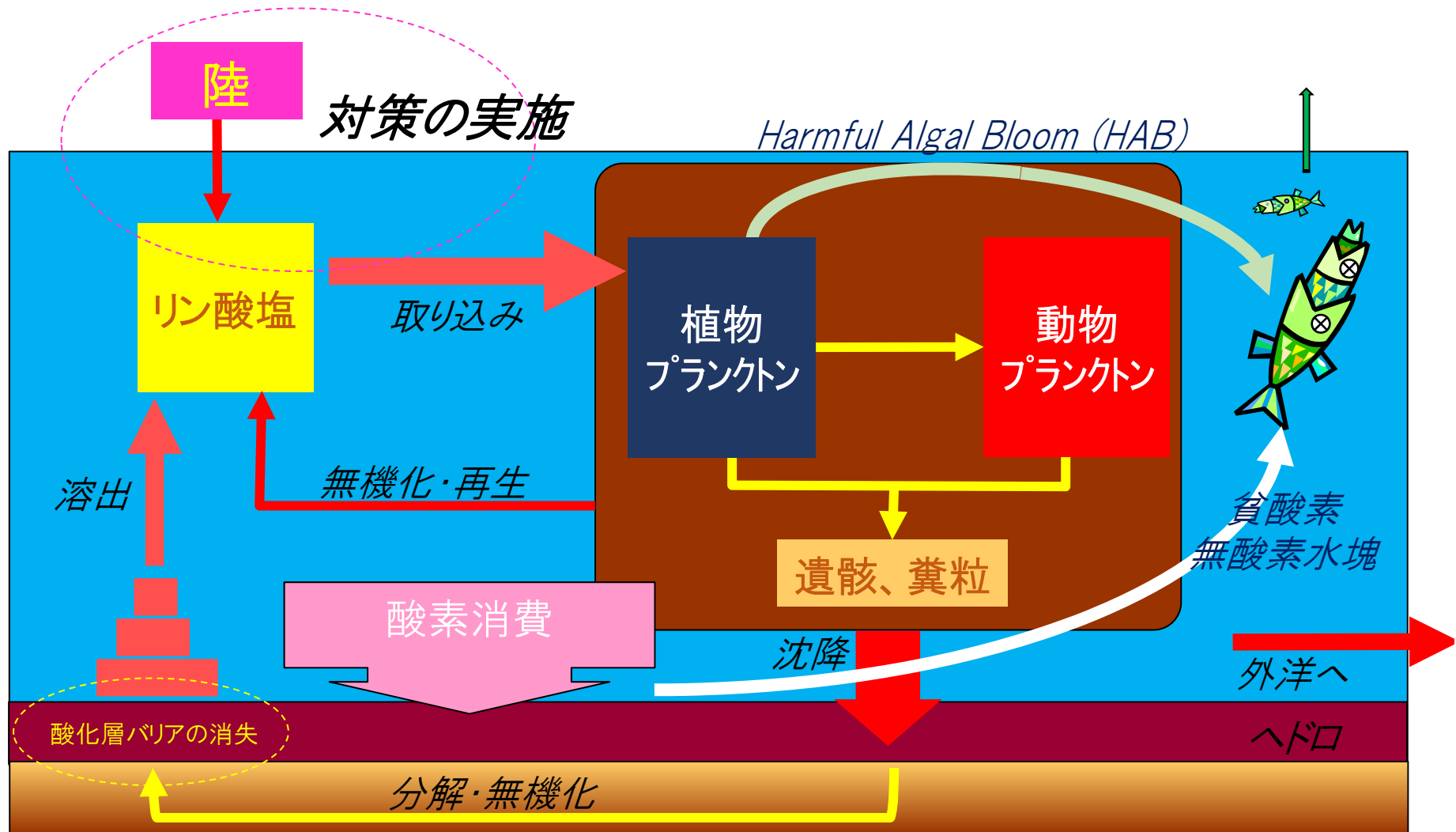
適度なリン(栄養塩)の供給により、豊かな沿岸海洋生態系の生産性が維持されている

富栄養化・有機汚濁



過剰なリンの供給によりプランクトンのブルーム(大発生)、貧酸素水塊、種組成の変化

対策(負荷制限)の実施・・・それでも



堆積物中に溜りに溜まったリンが・・・

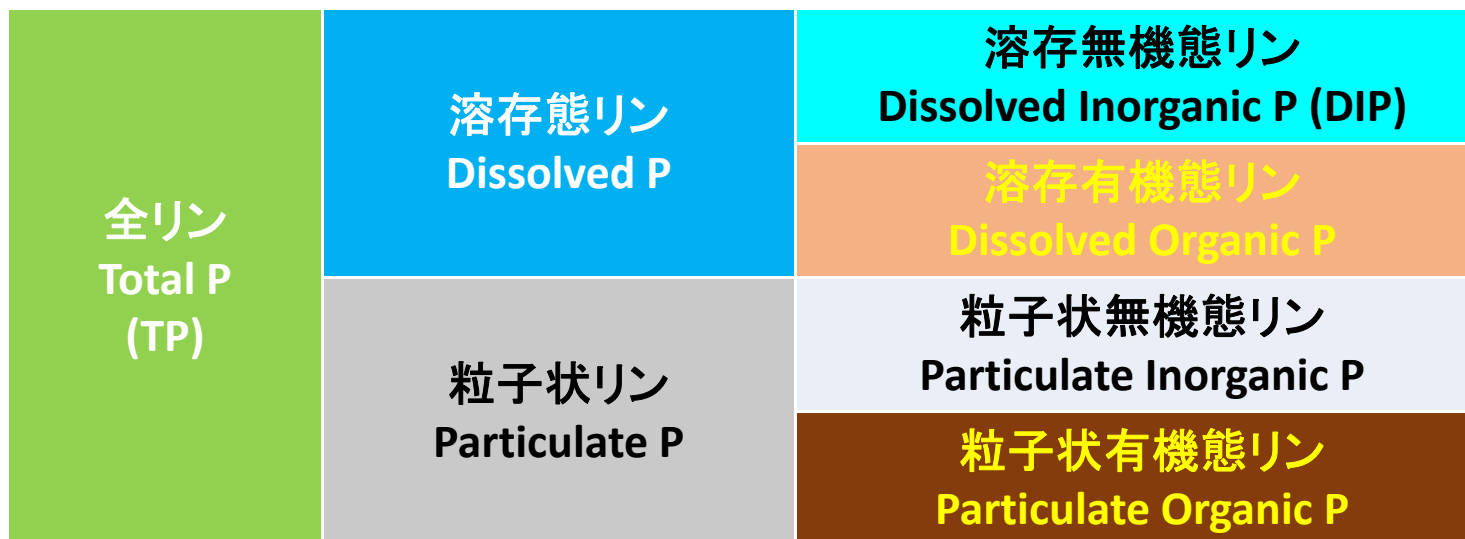
講演内容

1. リンとは？

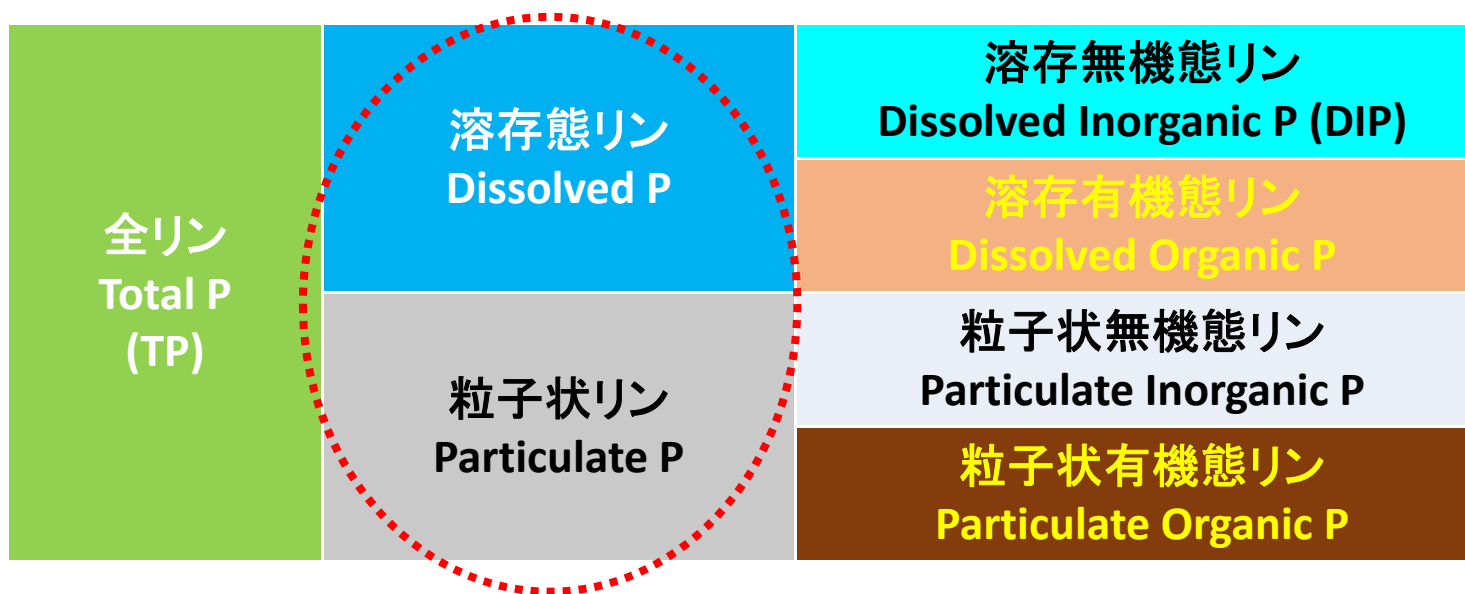
2. リンの形態分別

3. 沿岸海域における陸起源有機態リン化合物の役割

環境水中のリンの分画



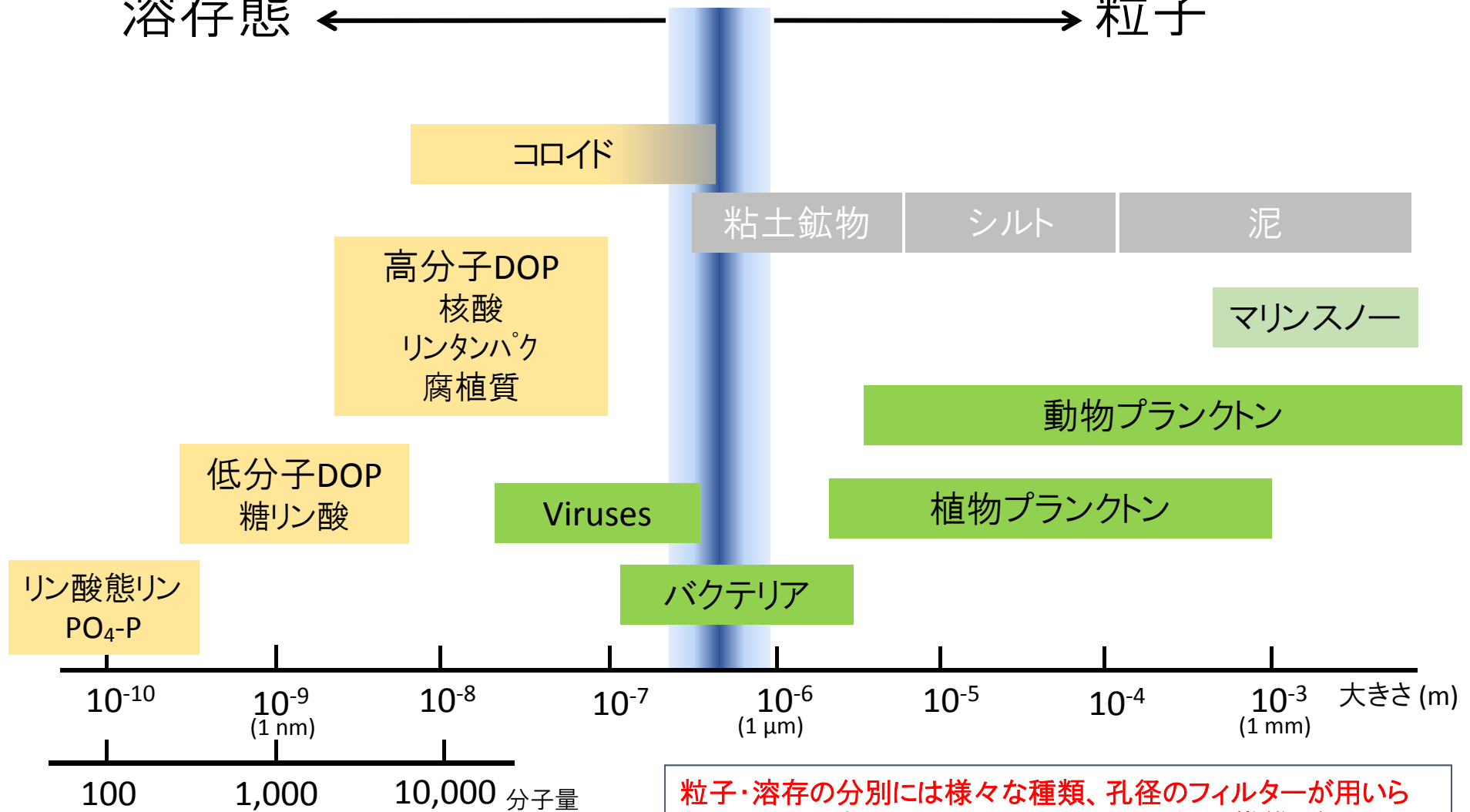
環境水中のリンの分画



サイズによる分画

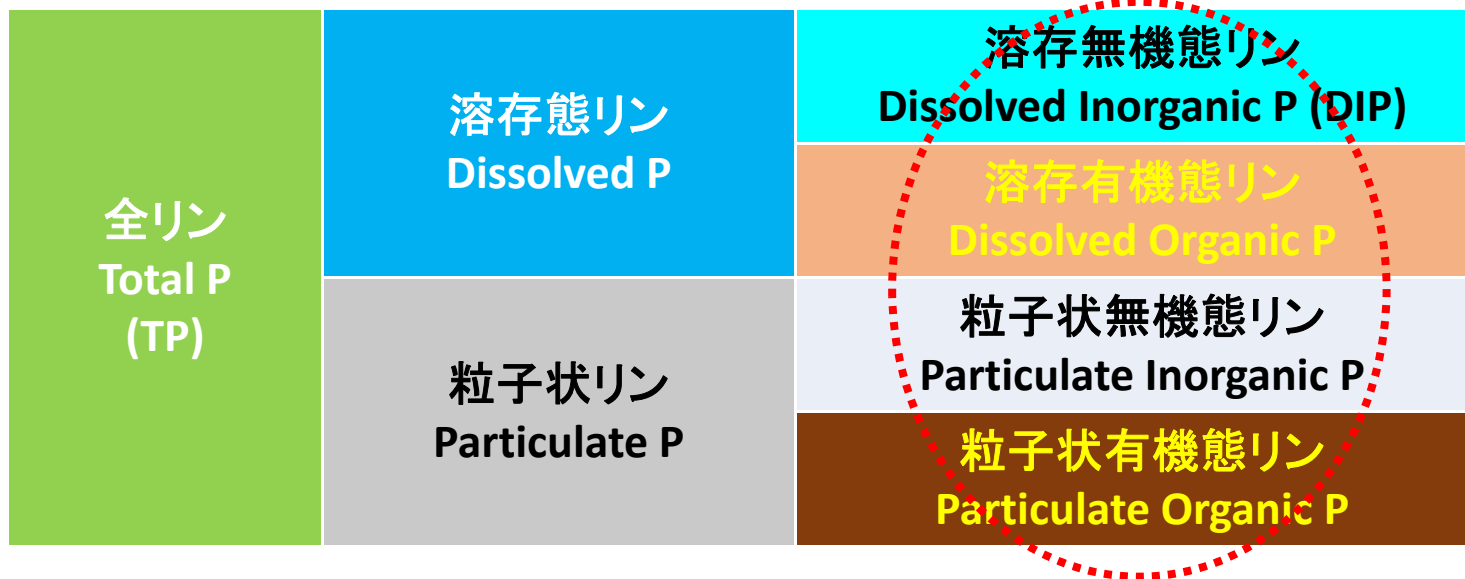
環境水中のリンのサイズ分画

溶存態 ← → 粒子



粒子・溶存の分別には様々な種類、孔径のフィルターが用いられているメンブレンフィルター (0.1 μm) ~ ガラス繊維ろ紙 (1 μm).

環境水中のリンの分画



化学形による分画

海域、季節によってはリン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)はマイナーな成分！

夏季東京湾におけるリンの分画・分布の観測例

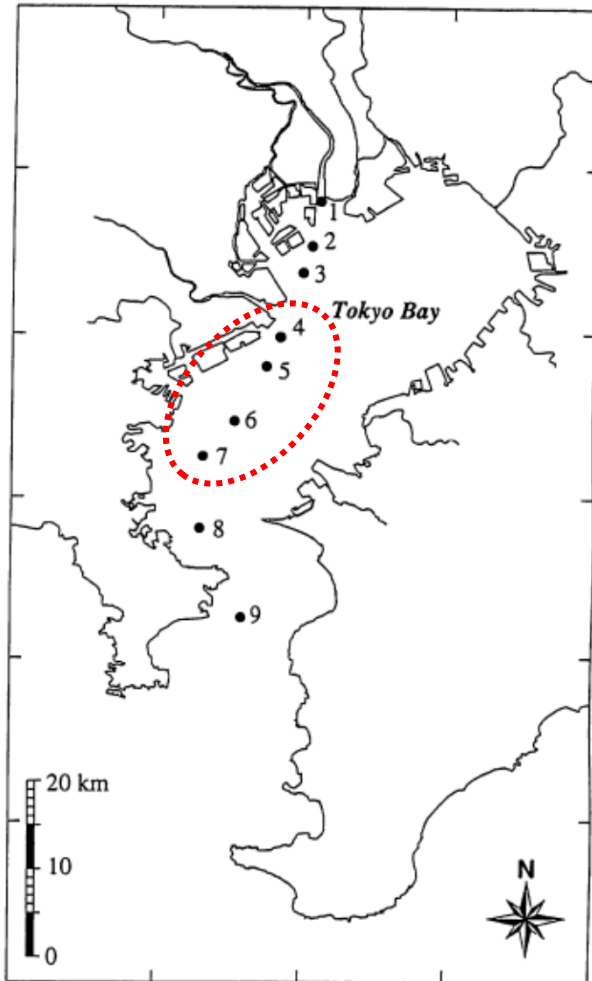
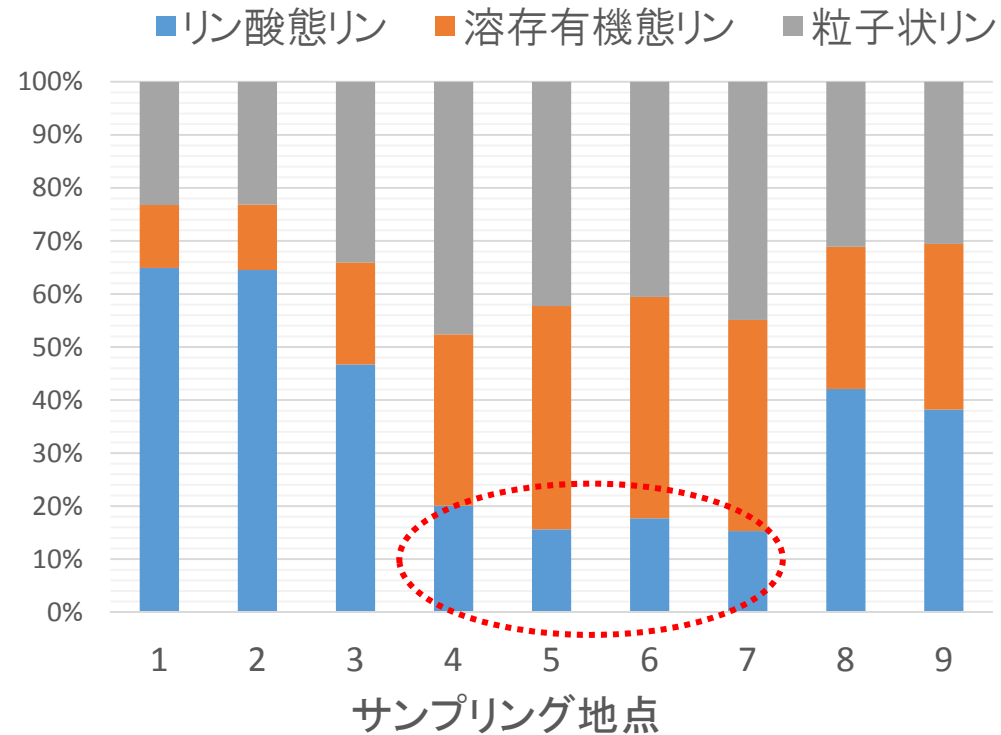


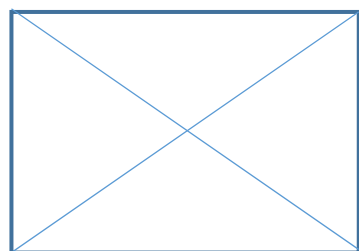
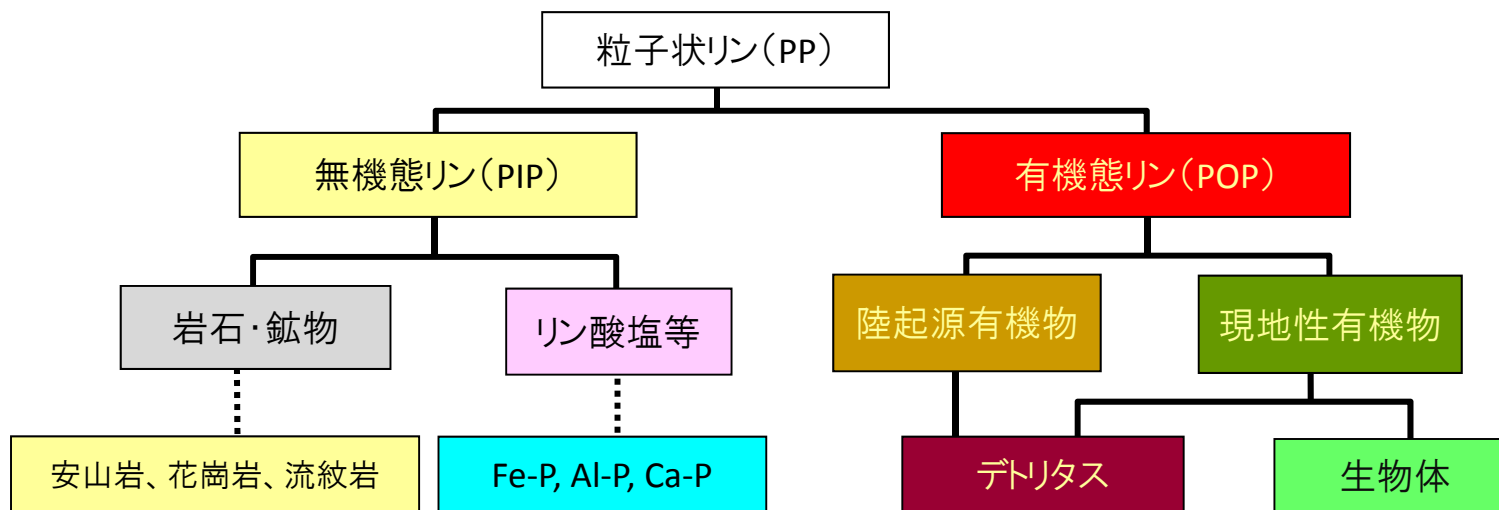
Fig. 1 Map of the sampling sites in Tokyo Bay.



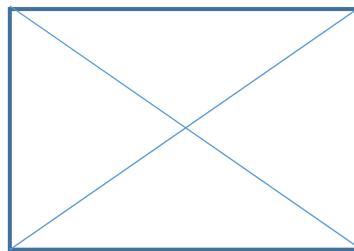
湾中央部：高い生物活動により、リン酸態リンの割合が減少し、粒子状リン、溶存有機態リンが卓越

鈴木・小川 (2001) 沿岸海洋研究より

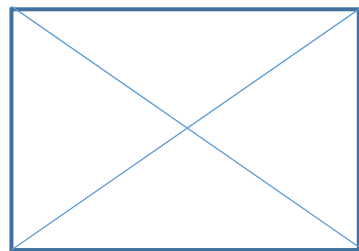
海水(環境水)中の粒子状リンの分画



安山岩



ヒドロキシアパタイト(Ca-P)



流紋岩

有機態リン: Organic P

化合物
Adenosine-5'-triphosphate, ATP

生物

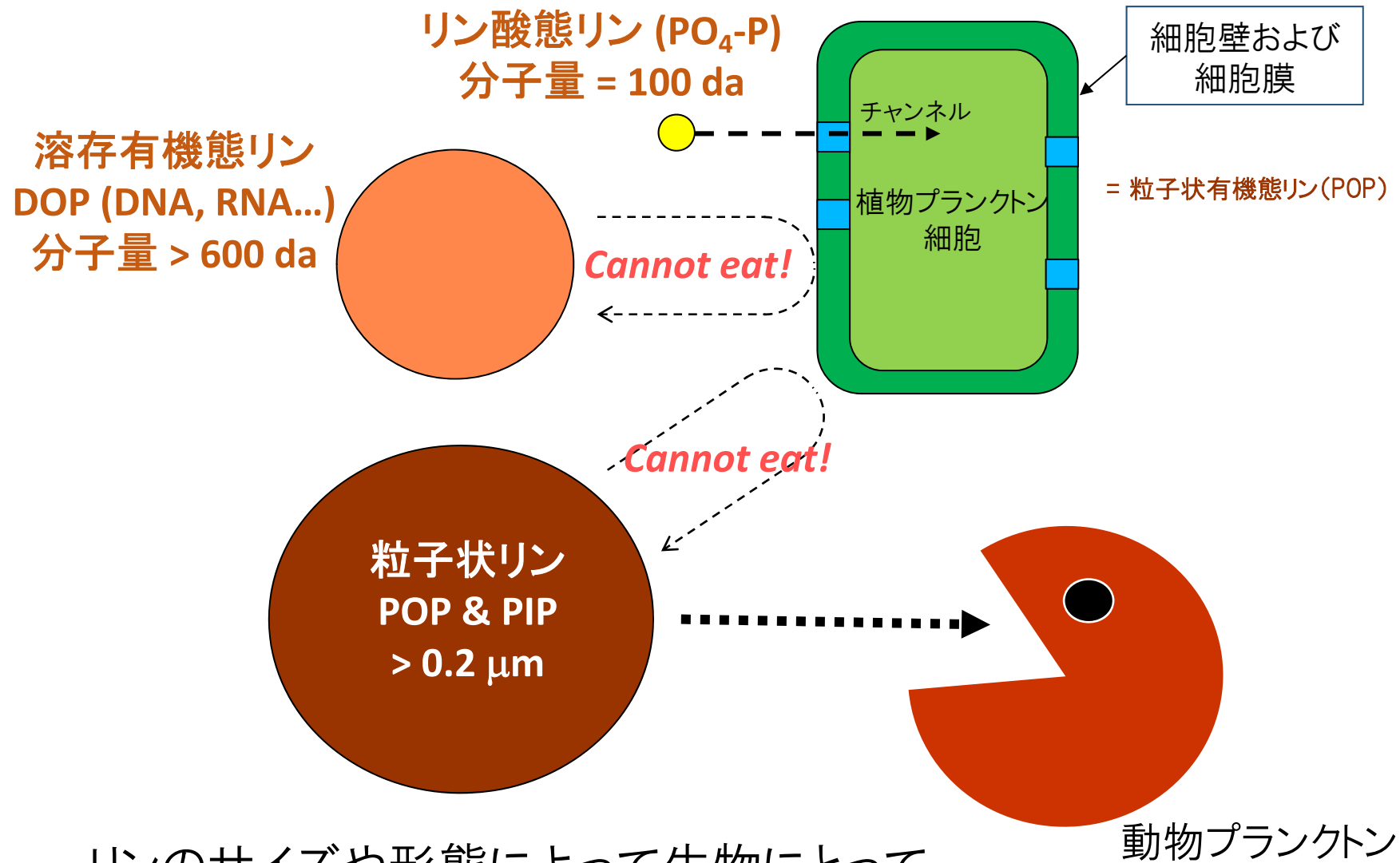
- 動植物プランクトン
- 遺骸・糞粒
- マリンスノー

DNA, RNA, リン脂質...

有機リン: Organophosphorus

明確な定義は無いが、有機リン系農薬などリンを含む人工化学物質に用いられる。

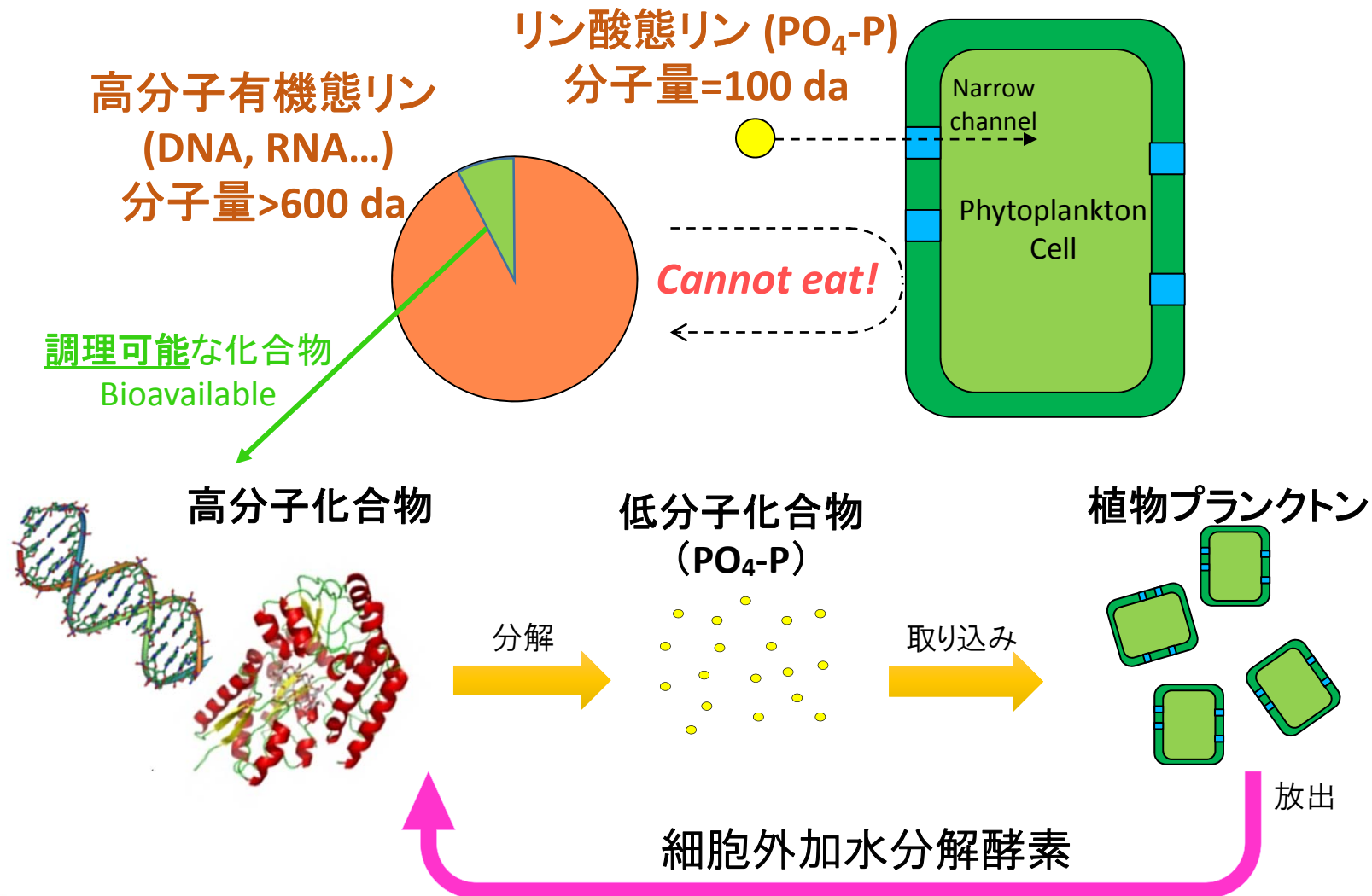
リンの分画はなぜ重要？



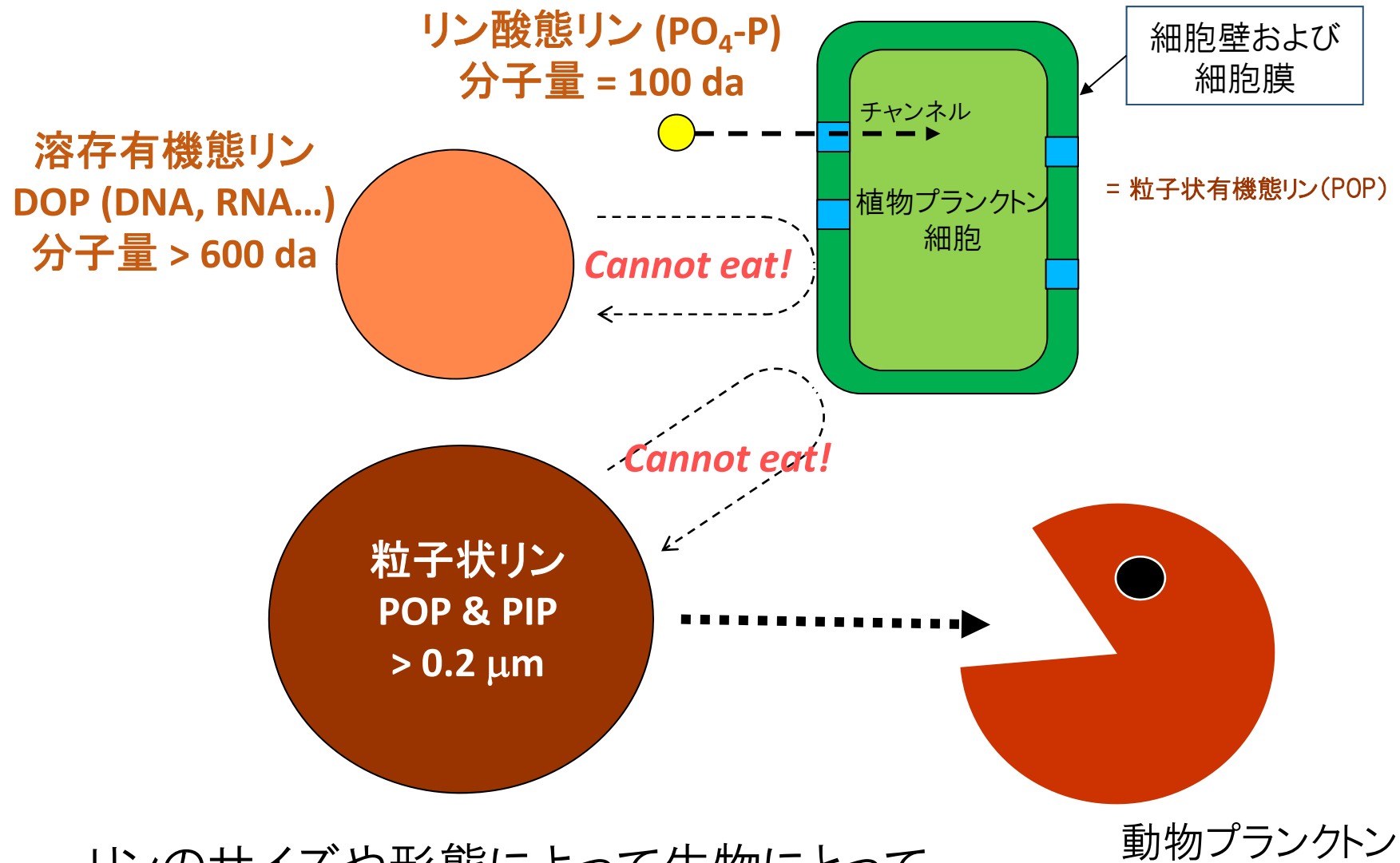
リンのサイズや形態によって生物にとっての利用性 (Bioavailability) が大きく異なる

植物プランクトンのリン取り込み戦略

料理器具・飛び道具（酵素）を使ったリンの獲得

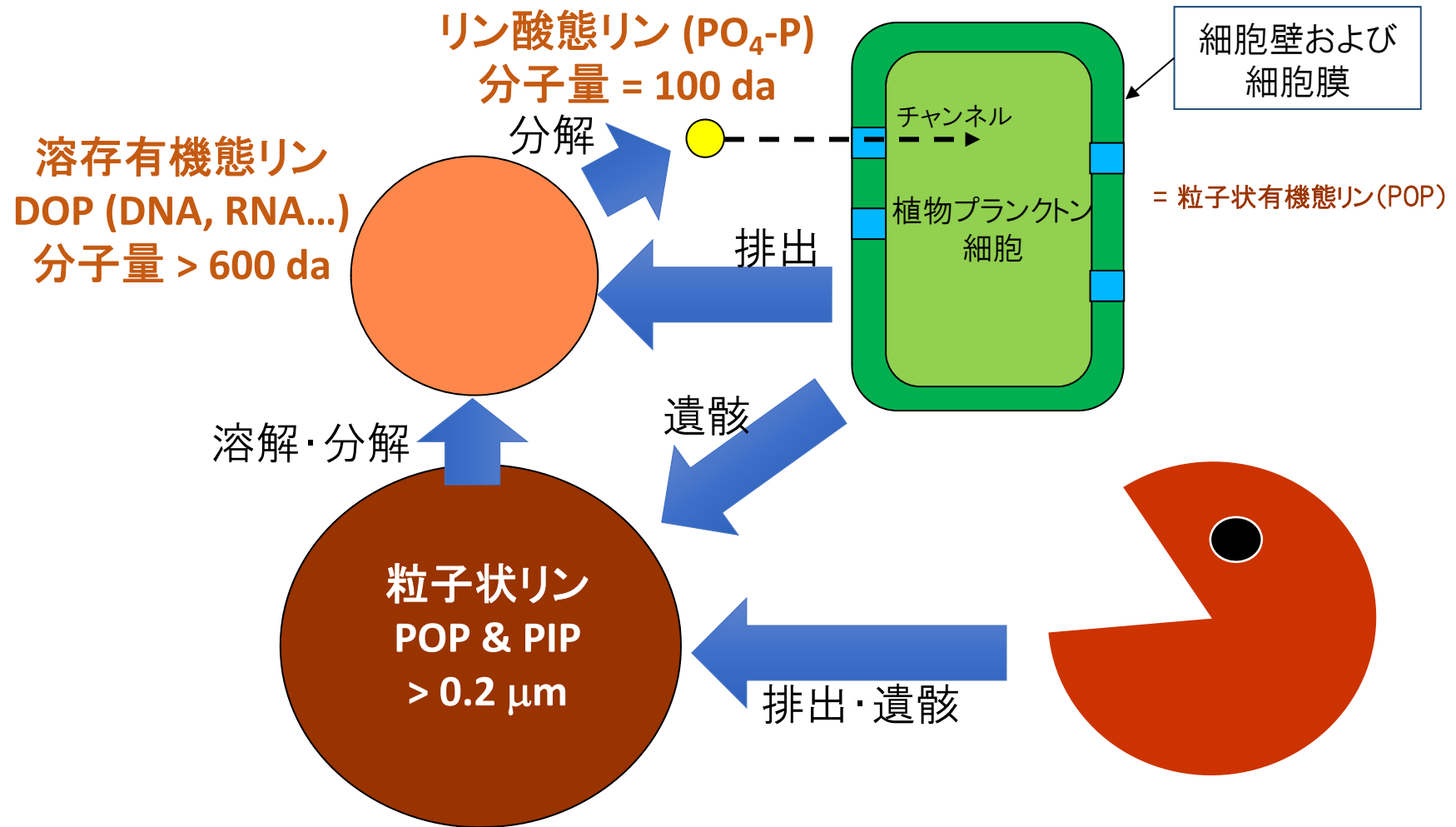


リンの分画はなぜ重要？



リンのサイズや形態によって生物にとっての利用性 (Bioavailability) が大きく異なる

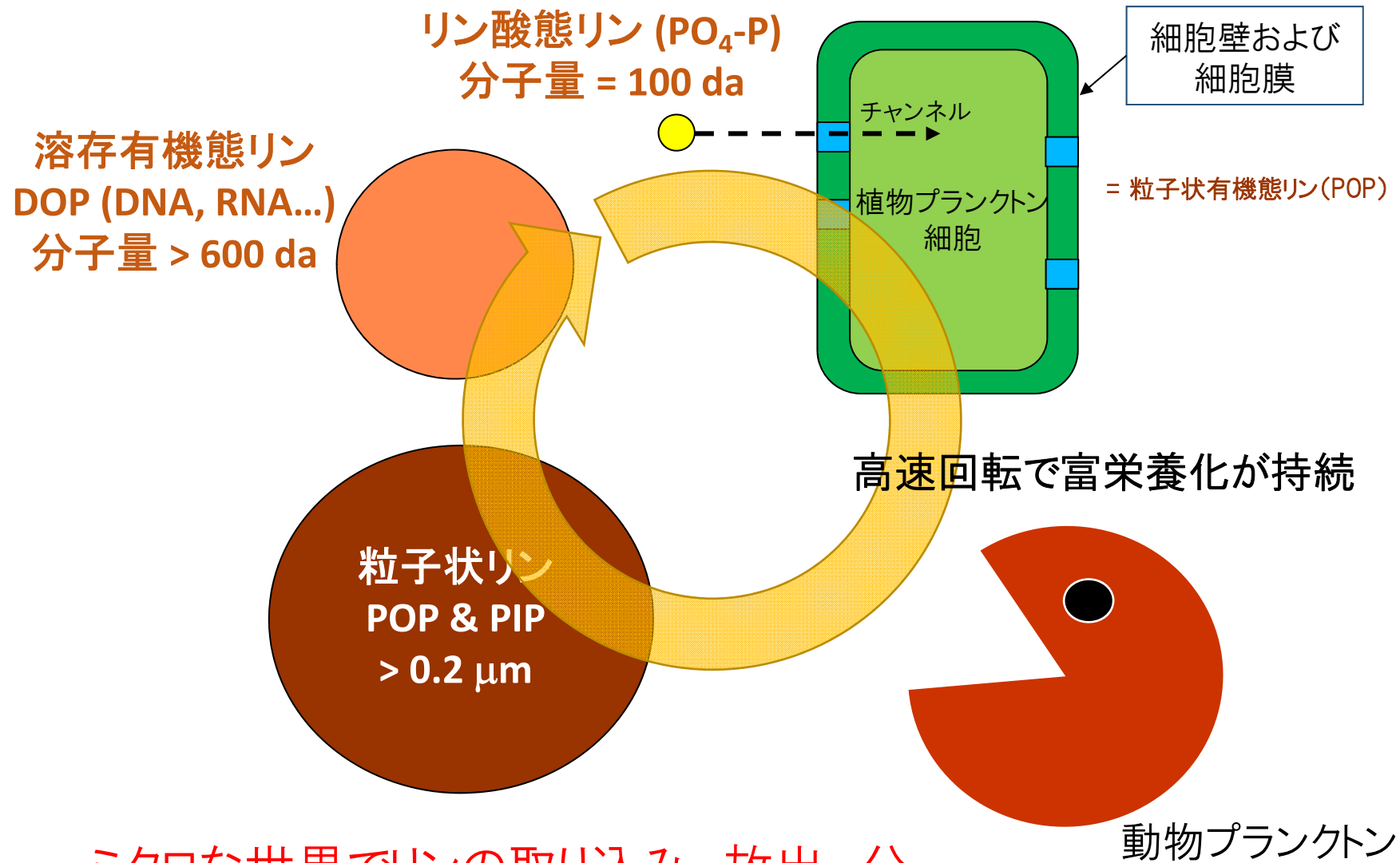
リンの分画はなぜ重要？



リンのサイズや形態によって生物にとっての用性 (Bioavailability) が大きく異なる

動物プランクトン

リンの分画はなぜ重要？

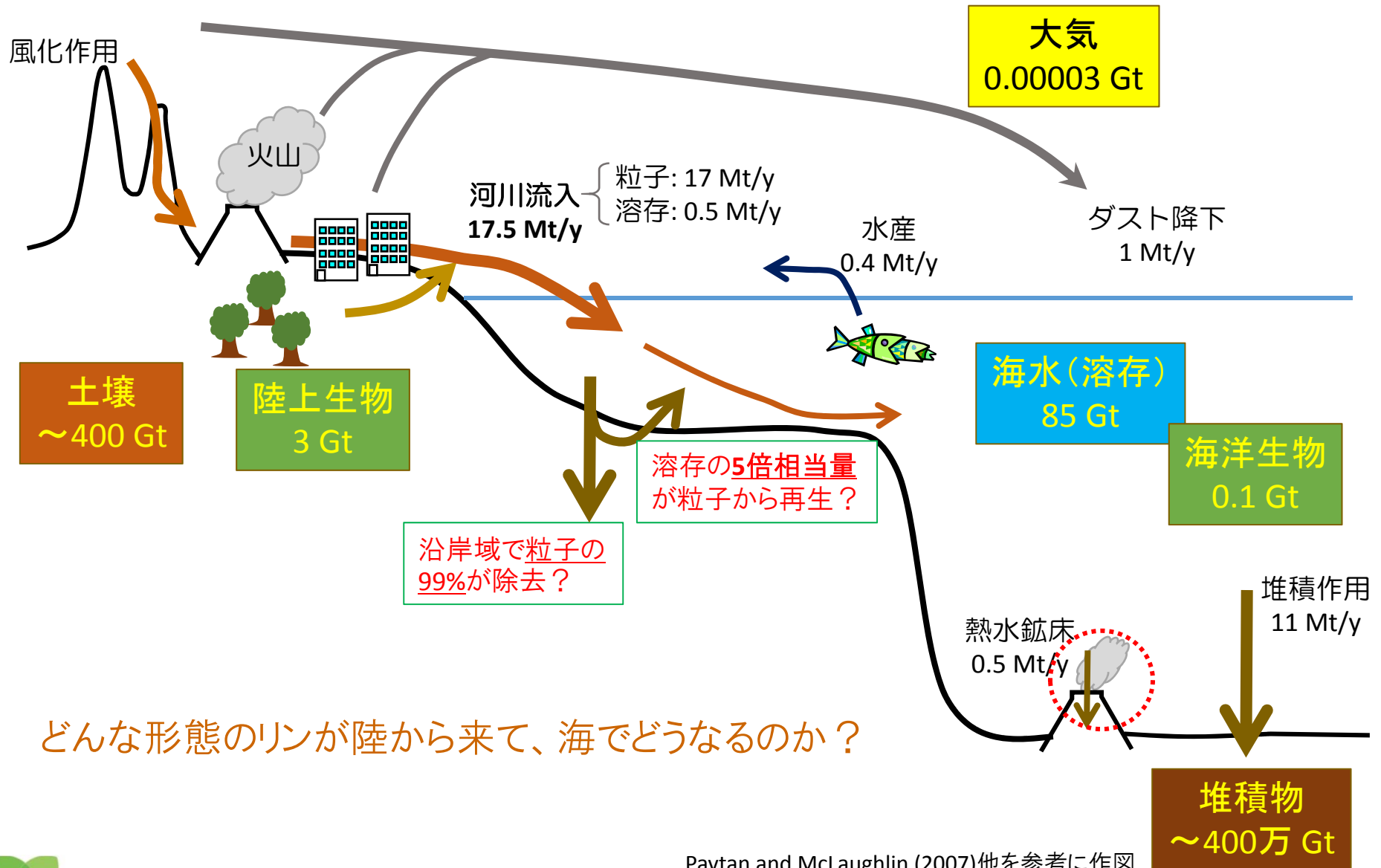


ミクロな世界でリンの取り込み、放出、分解サイクルが高速回転

講演内容

1. リンとは？
2. リンの形態分別
3. 沿岸海域における陸起源有機態リン化合物の役割

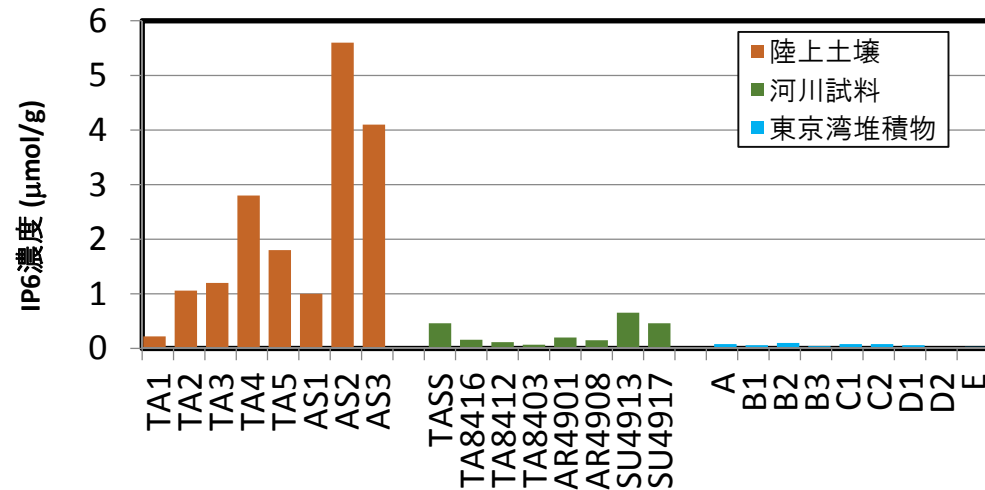
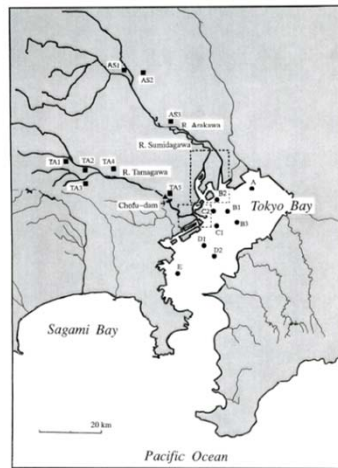
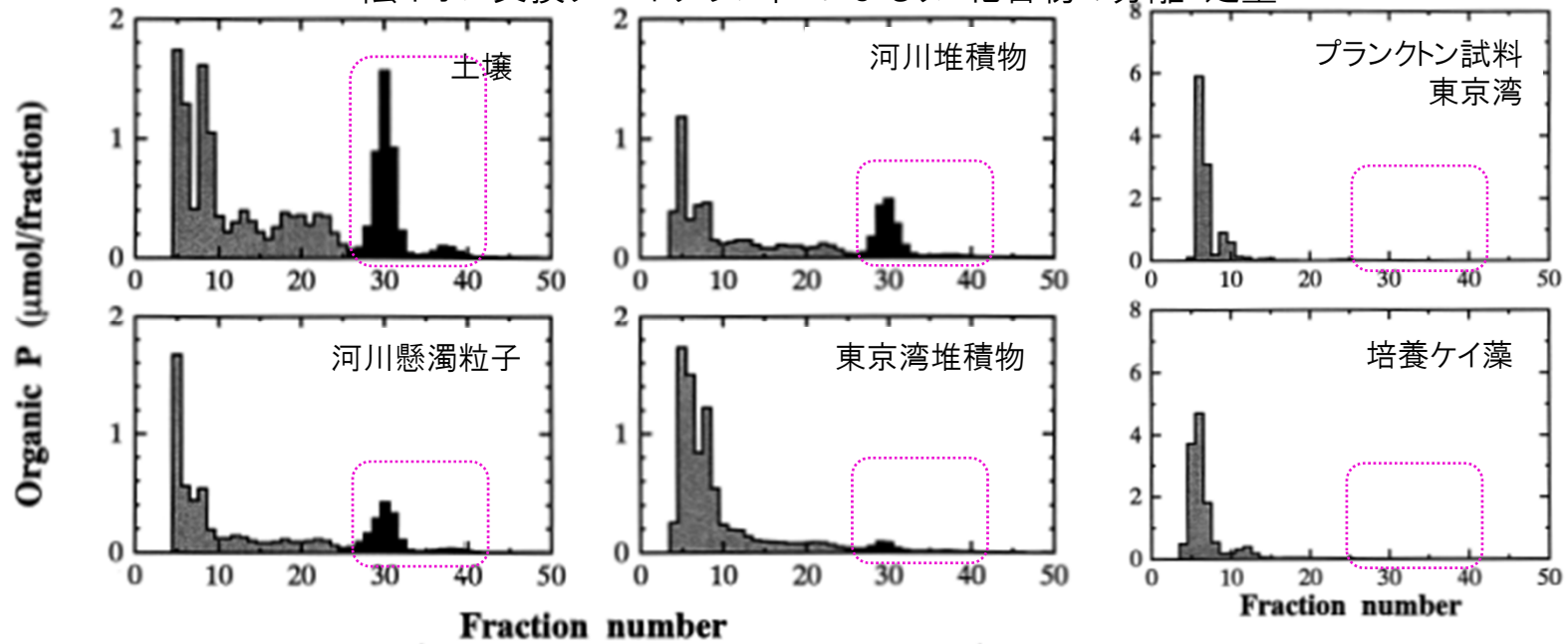
リンの生物地球化学的循環- Biogeochemical Cycle of Phosphorus



どんな形態のリンが陸から来て、海でどうなるのか？

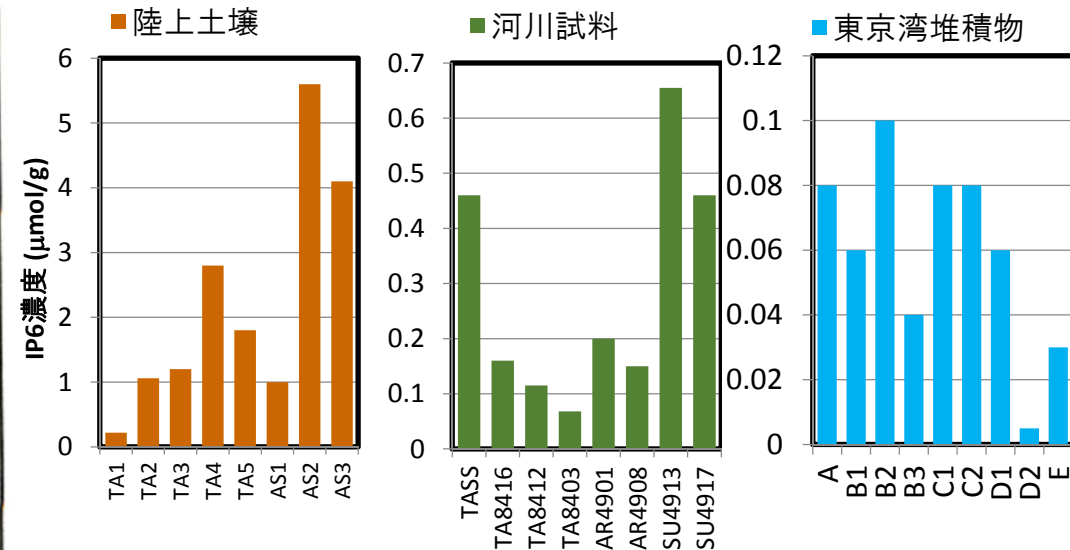
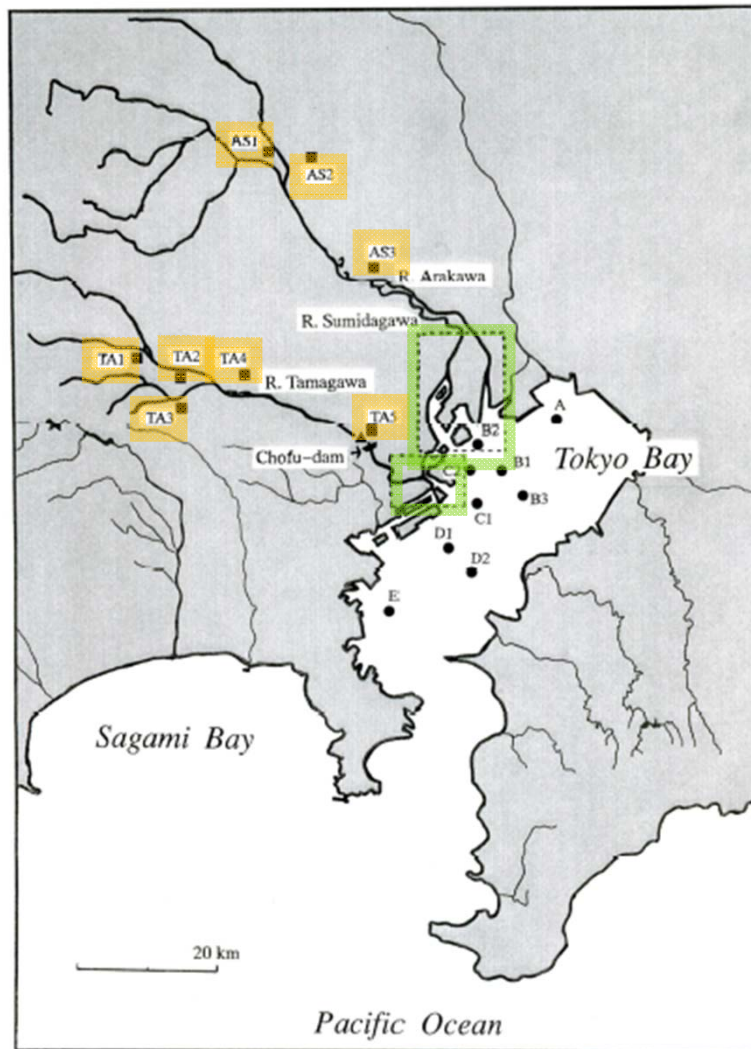
東京湾およびその集水域におけるIP₆

陰イオン交換クロマトグラフィーによるリン化合物の分離・定量



Suzumura & Kamatani (1995) L&O 40, 1254-1261.

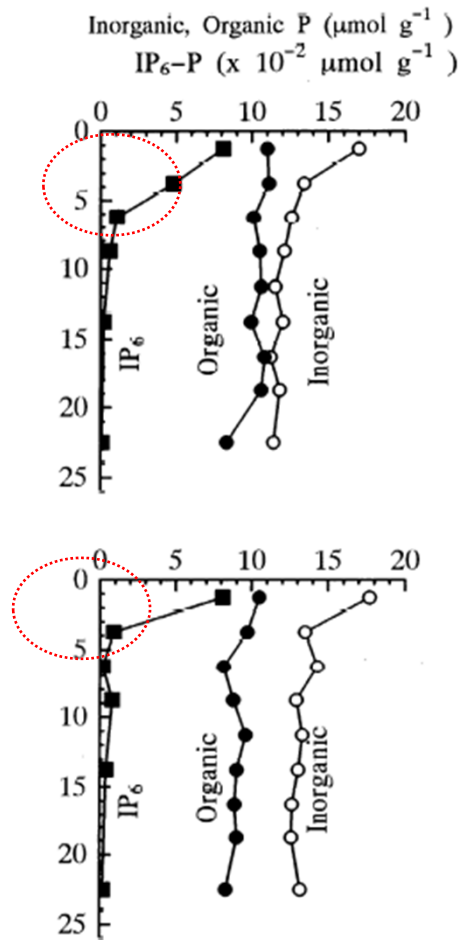
東京湾およびその集水域におけるIP₆



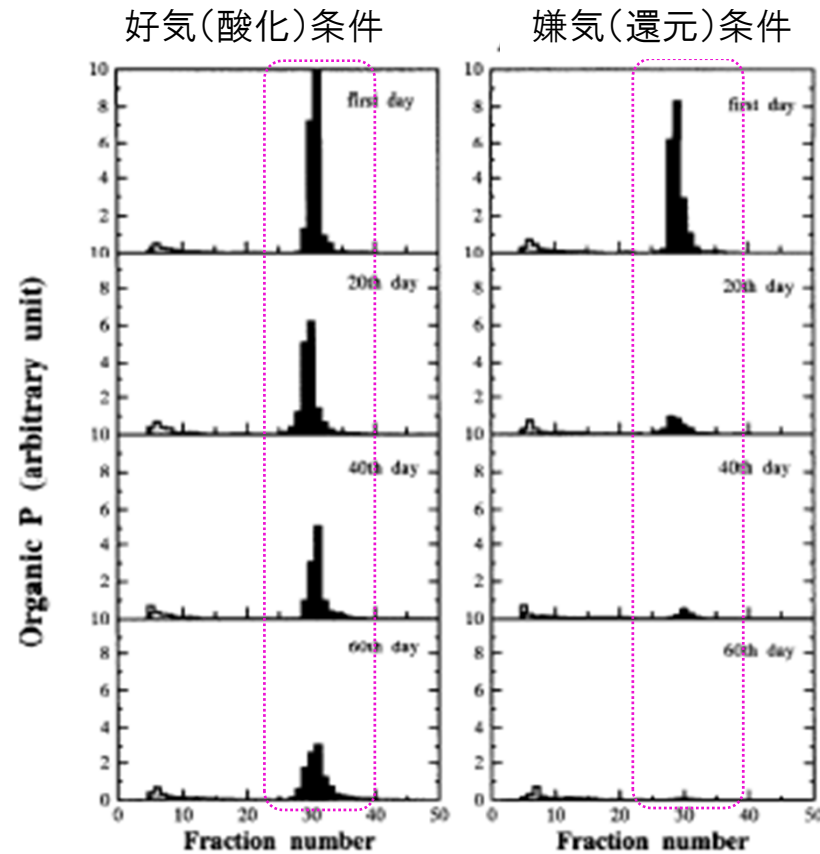
- 多摩川、荒川集水域土壤中到高濃度のIP₆を確認
- 出水時の多摩川懸濁粒子中にIP₆を確認
- 河川堆積物中のIP₆濃度は上流から下流へと減少
- 東京湾堆積物表層のIP₆濃度は土壌より二桁低い

土壌を起源とするIP₆が河川を通して東京湾に供給
しかし、その濃度は非常に低い(全有機態リンの約1%)

海底堆積物(東京湾)中でのIP₆の動態



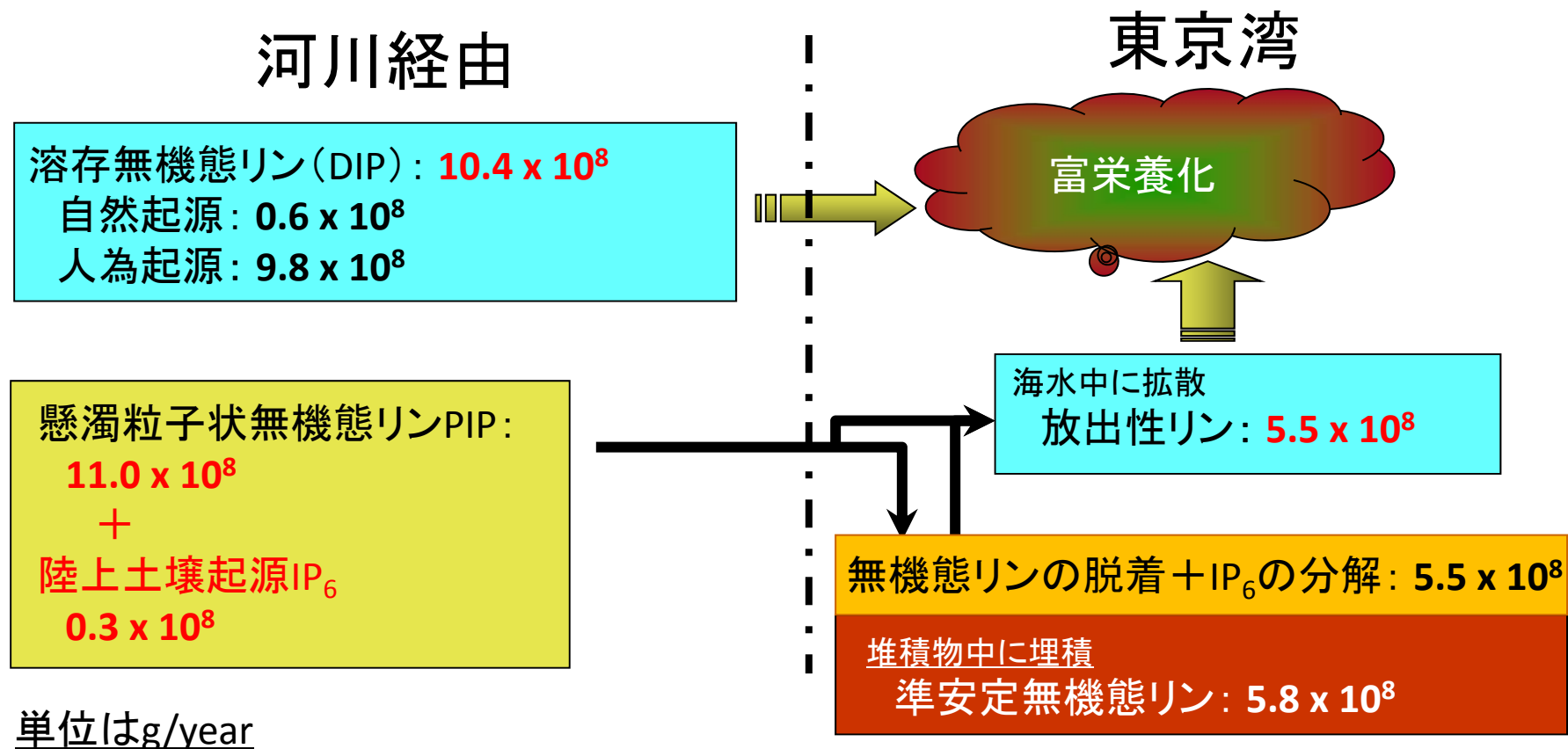
柱状堆積物中のIP₆の分布



酸化還元状態をコントロールしたIP₆の室内分解実験(60日間)

土壤中で安定で高濃度で存在するIP₆は海底堆積物中において速やかに分解・無機化される(特に嫌氣的環境下)

IP₆の分解と粒子状無機態リンからの放出とIP₆の分解を考慮



隠れたリンの負荷源: 粒子状無機態リンと(海洋環境中で)易分解性の陸起源有機態リン化合物 →

リンの中身まで見た統合的な管理・評価が必要である

最後に、リンとは？ リン資源の将来(枯渇性・偏在性)



化石燃料と同様、あるいはそれ以上にリン資源の枯渇は現実的な脅威となっている

リンのリサイクルと豊かな沿岸生態系の両立