

豊かで美しい三重の海づくり調査特別委員会

森里海連環学の視点から

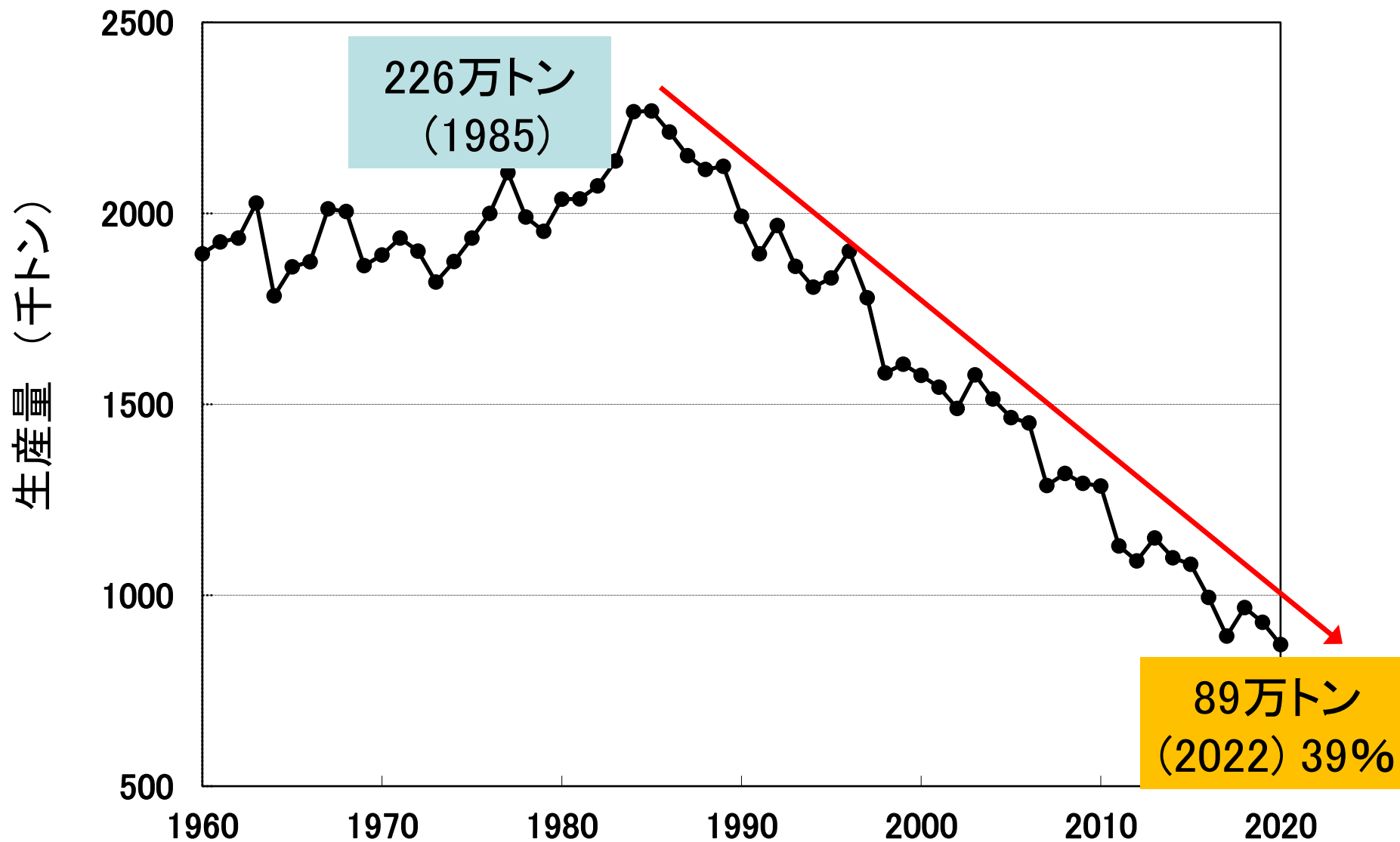
資料 1

山下 洋
(京都大学フィールド科学
教育研究センター)



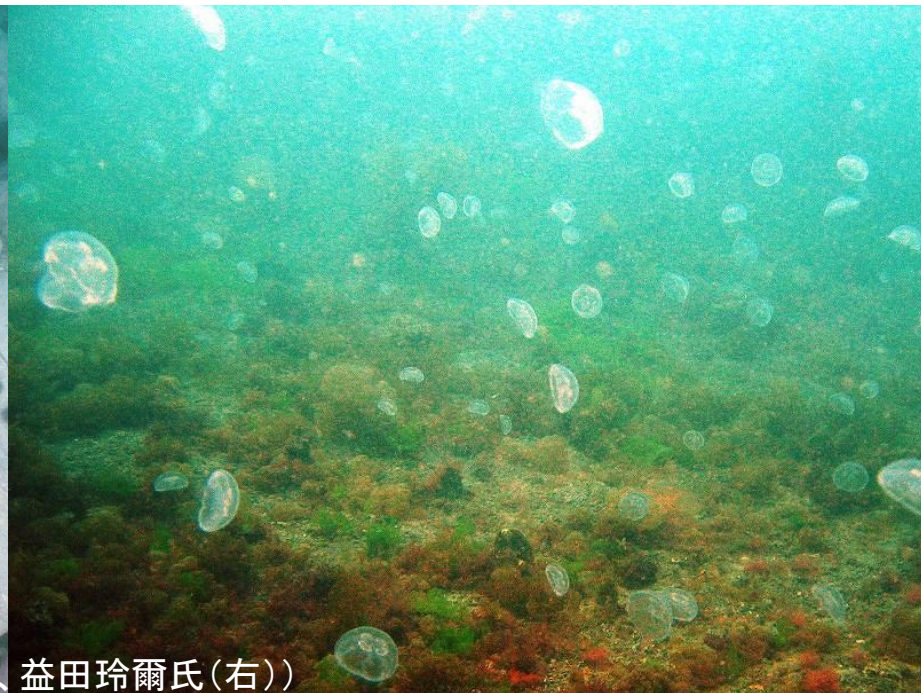
令和7年9月19日

日本の沿岸漁業漁獲量は長期的に減少



沿岸生態系の異変と劣化

- 沿岸では、海藻が激減（磯焼け）、中身のない痩せウニの増加、クラゲが大発生するなど、生態系に大きな異変が起っている
- このような沿岸域の生物生産力と生物多様性の長期的な低下は、沿岸生態系の劣化を示している
- その主要な原因のひとつとして、森から海までの生態系のつながりの悪化が考えられる

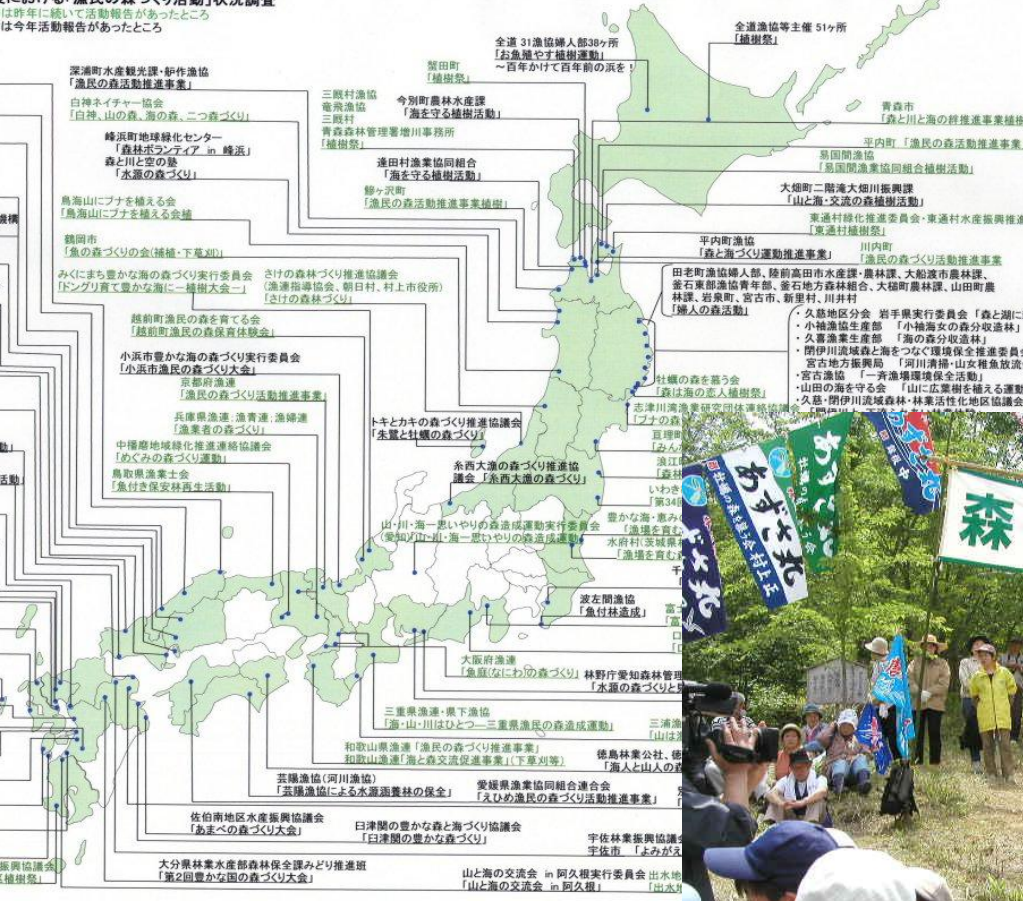


(写真: 高見秀輝氏(左)、益田玲爾氏(右))

漁民・市民による森づくり

- 1988年北海道漁業協同組合婦人部協議会の「お魚を殖やす運動」
- 1989年NPO法人森は海の恋人「植樹祭」
- 海のための植林事業（都道府県）「漁民・市民の森づくり活動」

日本における「漁民の森づくり活動」状況調査
は昨年に続いて活動報告があったところは
今年活動報告があったところ



- 豊かな森が豊かな海を育む
- 森は海の恋人
- 魚つき(保安)林
- ブナ一本・ブリ千本



豊かな森が豊かな海を育む？

- 科学的な証拠はほとんどない。漁業者や地域の人々の感覚や古来からの伝承を根拠としている
- 森里海連環の解明はケーススタディーの積み重ねだけでは困難(超複雑系)



ネット採集、潜水観察などのフィールド調査手法

1. フィールドでの魚類採集調査は大変な作業
2. 採集効率が不明(どれくらいの精度で採集できるか)
3. 夜行性種、底泥や穴などに潜む種、希少種の採集は困難



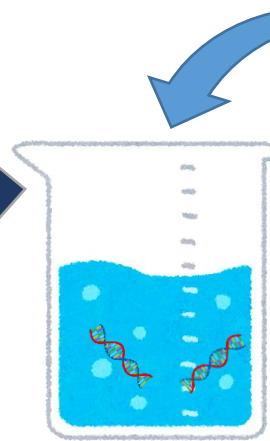
(写真笠井亮秀氏)

環境DNA分析

1. バケツ1杯の水で十分、調査が簡単で効率的
2. 従来の手法(採集、観察)よりも検出感度が高い
3. 生物を殺さない、生息域を破壊しない
4. 特に採集が難しい希少種の調査に最適

水に含まれるDNAの種類
や量から

1. 生息する生物の種類
が分かる(メタバー
コーディング)
2. 特定種の量の目安の
推定
3. 定量メタバーコーディ
ング



(作図笠井亮秀氏)

全国22の一級河川河口調査

2018年6月～8月

各河川の満潮時、
干潮時に採水

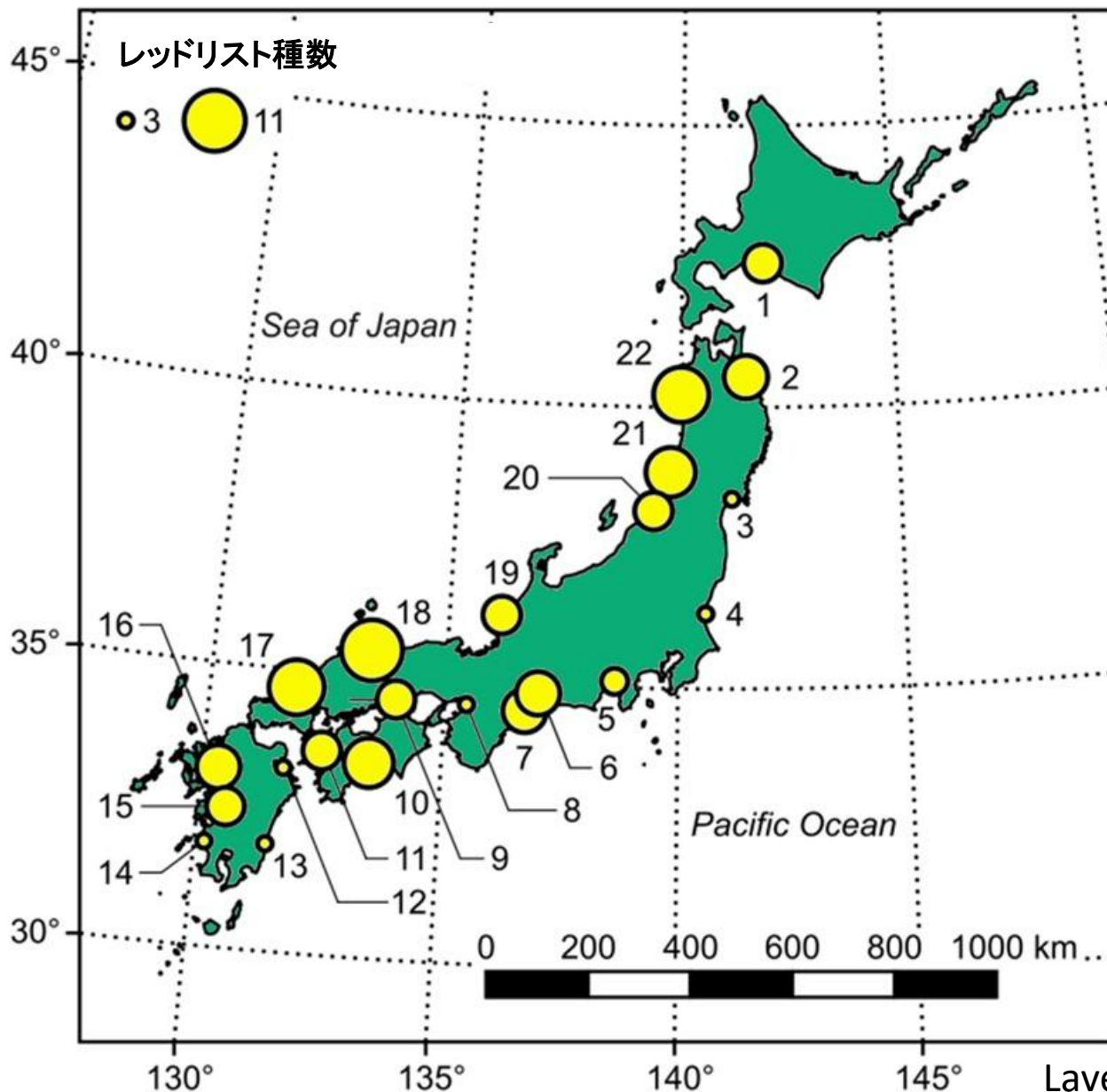
環境DNA

メタバーコーディング

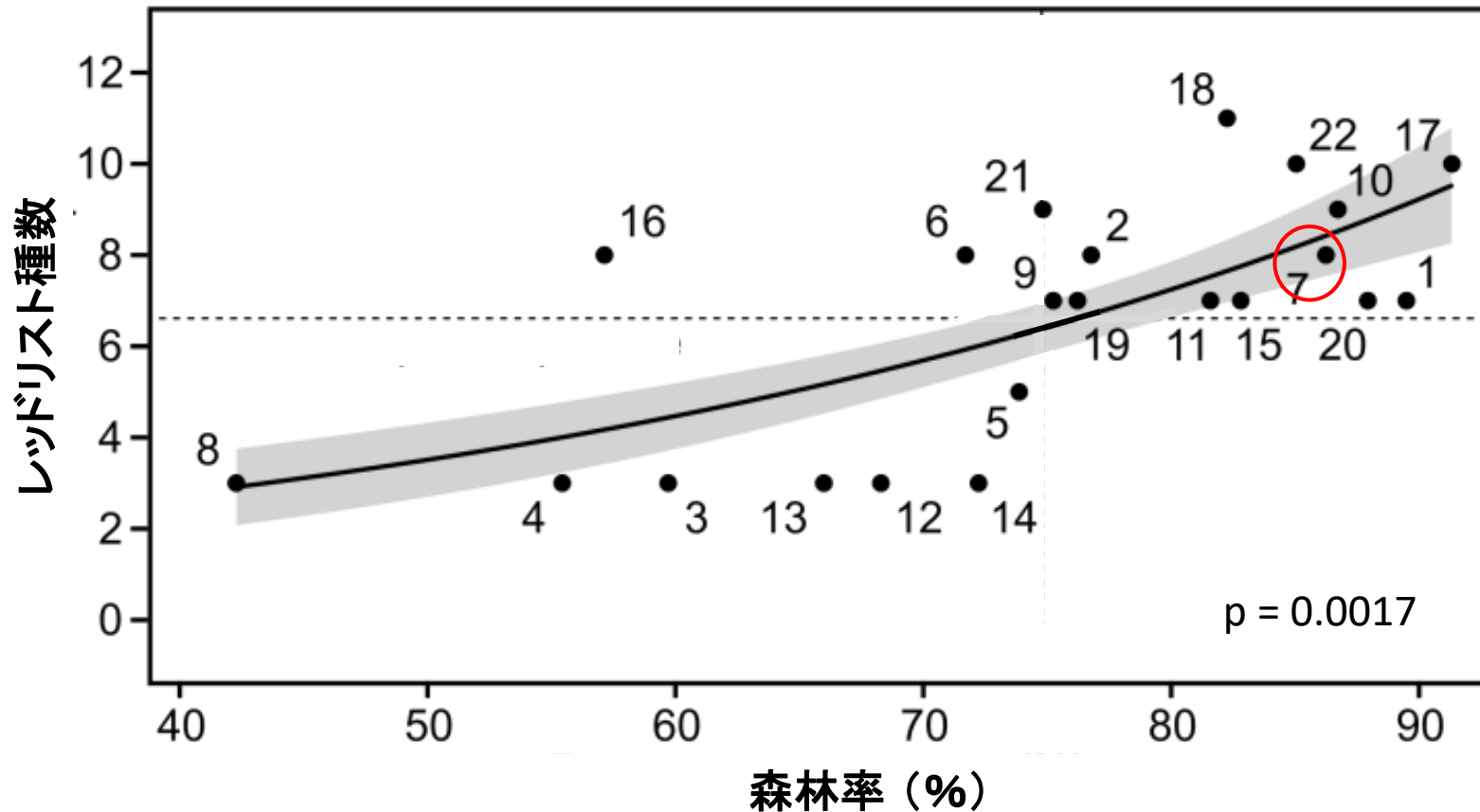
全62 科、132属、186
種を検出(外来種 7種、
環境省レッドリスト掲
載種49種)

1 鵜川、2 馬淵川、3 鳴瀬川、4
那珂川、5 富士川、6 矢作川、
7 宮川、8 大和川、9 旭川、10
仁淀川、11 肱川、12 大野川、
13 大淀川、14 川内川、15 球磨
川、16 筑後川、17 高津川、18
日野川、19 九頭竜川、20 荒川、
21 赤川、22 米代川

Lavergne et al. (Cons. Biol. 2022)



一般化線形モデル(GLM)の結果



1. 河川ごとの全出現種数と説明変数との間に関係性は認められない
2. 河川ごとの全レッドリスト種数との関係では、森林率のみが有意に影響
3. 高い森林率を流域に持つ河川の河口域には、より多くのレッドリスト種が生息

森・里・海をつなぐ要因

1. 水量調節（森林の緑のダム機能）

緑のダム機能＝洪水緩和機能・渇水緩和機能

学会でも議論 「緑のダムの科学：蔵治・保屋野編 築地書館」

2. 水質浄化（森林の水源涵養機能）

3. 栄養塩類の供給（窒素、リン、ケイ素、溶存鉄）

4. 無機微細粒子（泥＝シルト・クレイ）排出と抑制

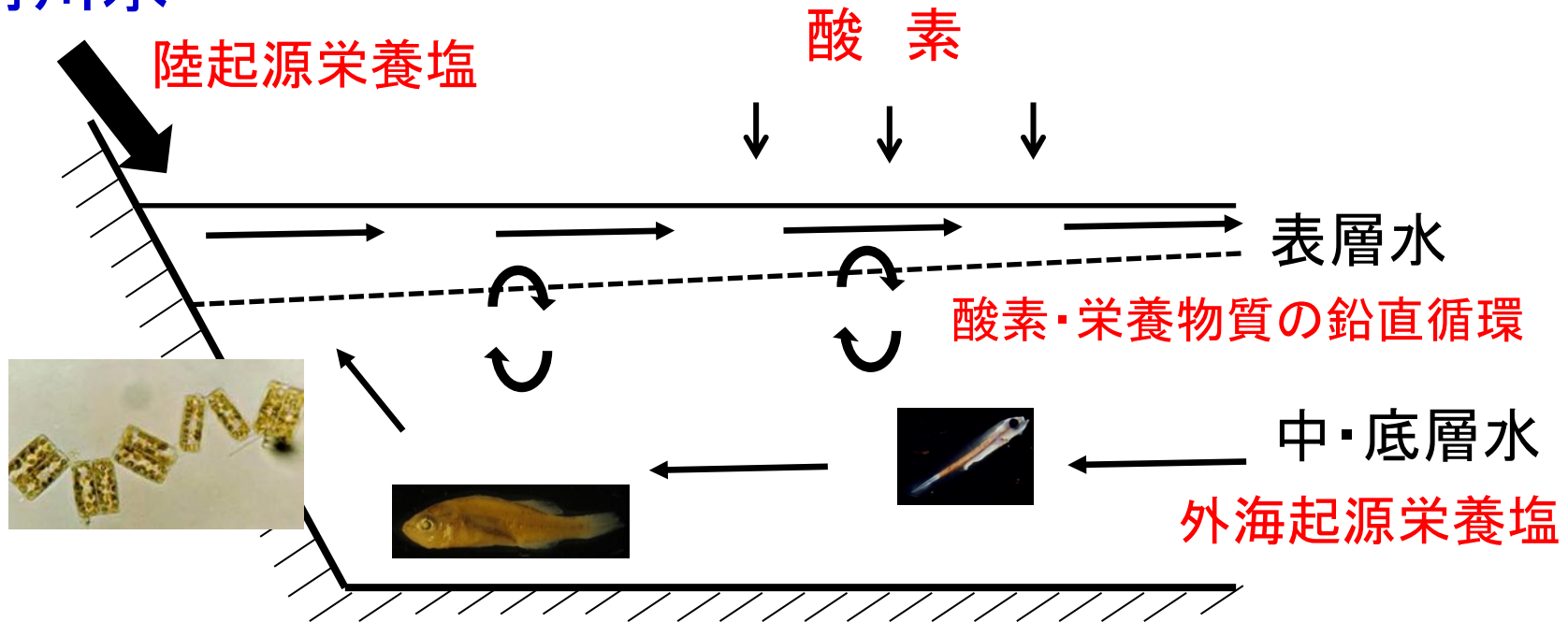
5. 有機物の供給と処理（河川・沿岸の機能）

6. 川と海の生物の生息と移動

7. 有毒物質（農薬、工場排水）

1. エスチュアリー循環

河川水



河川水量が増加すると？

1. エスチュアリー循環の駆動力増加
2. 河川水→陸起源栄養塩供給
3. 外海水→外海起源栄養塩供給
4. 鉛直混合→溶存酸素供給
5. 湾内の浄化機能が増大

なぜスズキ稚魚が増えるのか

1. エスチュアリー循環による岸向きの中・底層流
2. 栄養塩による生産力の増大
3. 浄化機能や溶存酸素の増加

森・里・海をつなぐ要因

1. 水量調節（森林の緑のダム機能）

緑のダム機能＝洪水緩和機能・渇水緩和機能

学会でも議論「緑のダムの科学：蔵治・保屋野編 築地書館」

2. 水質浄化（森林の水源涵養機能）

3. 栄養塩類の供給（窒素、リン、ケイ素、溶存鉄）

4. 無機微細粒子（泥＝シルト・クレイ）排出と抑制

5. 有機物の供給と処理（河川・沿岸の機能）

6. 川と海の生物の生息と移動

7. 有毒物質（農薬、工場排水）

2. 水質浄化と 3. 栄養塩供給

2. 水質浄化(森林の水源涵養機能)

3. 栄養塩類の供給(窒素、リン、ケイ素、溶存鉄)

① 栄養塩類のバランスが重要(レッドフィールド比)

② 健康な森は栄養(特に窒素)をあまり出さない。一方、窒素飽和森林から出る栄養塩は、適度な範囲で水圏の生物生産にはプラス

③ 大気性硫黄酸化物(SO_x)や窒素酸化物(NO_x)などを浄化する機能 → 森林自体は酸性化によるダメージ

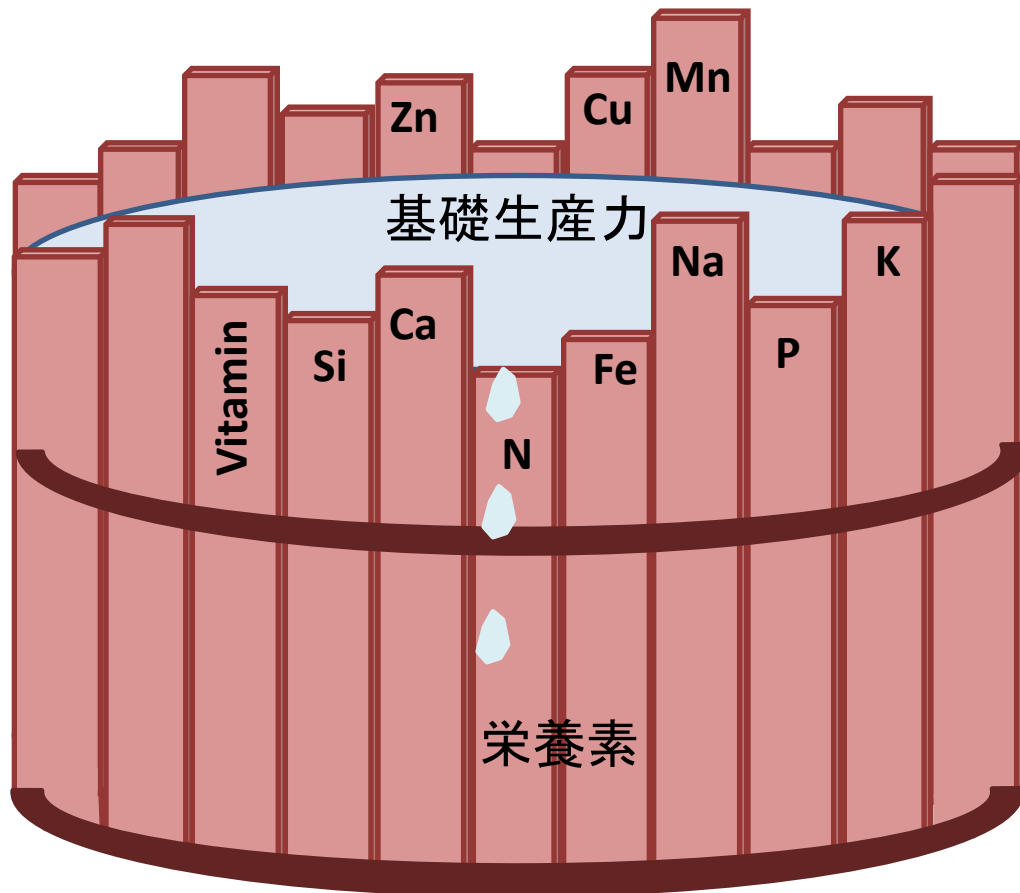
④ 森が作るフルボ酸鉄が注目されている。しかし、沿岸海域での基礎生産への貢献は不明(日本の沿岸では溶存鉄は不足していない可能性)

2, 3. 海での基礎生産に重要な栄養素

レッドフィールド比

$$\text{N} : \text{P} : \text{Si} : \text{Fe} = 16 : 1 : 15 : 0.005$$

(珪藻細胞内の元素の比)



栄養塩のうち、相対的に最も不足しているものによって、植物プランクトン生産量が決まる

- ・栄養塩のバランスが重要
- ・沿岸域では窒素不足が多い

2. 水質浄化と 3. 栄養塩供給

2. 水質浄化(森林の水源涵養機能)

3. 栄養塩類の供給(窒素、リン、ケイ素、溶存鉄)

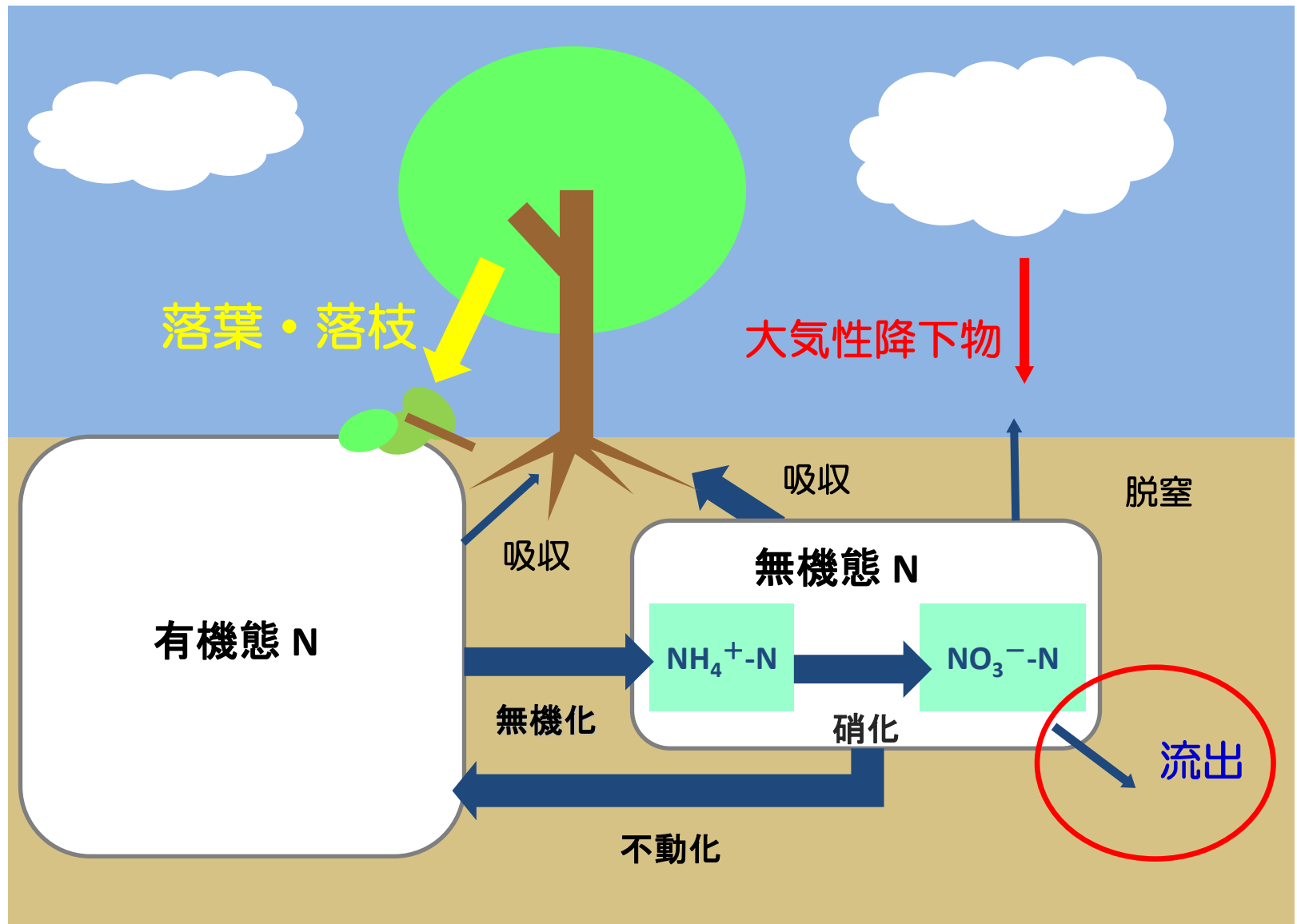
① 栄養塩類のバランスが重要(レッドフィールド比)

② 健康な森は栄養(特に窒素)をあまり出さない。一方、窒素飽和森林から出る栄養塩は、適度な範囲で水圏の生物生産にはプラス

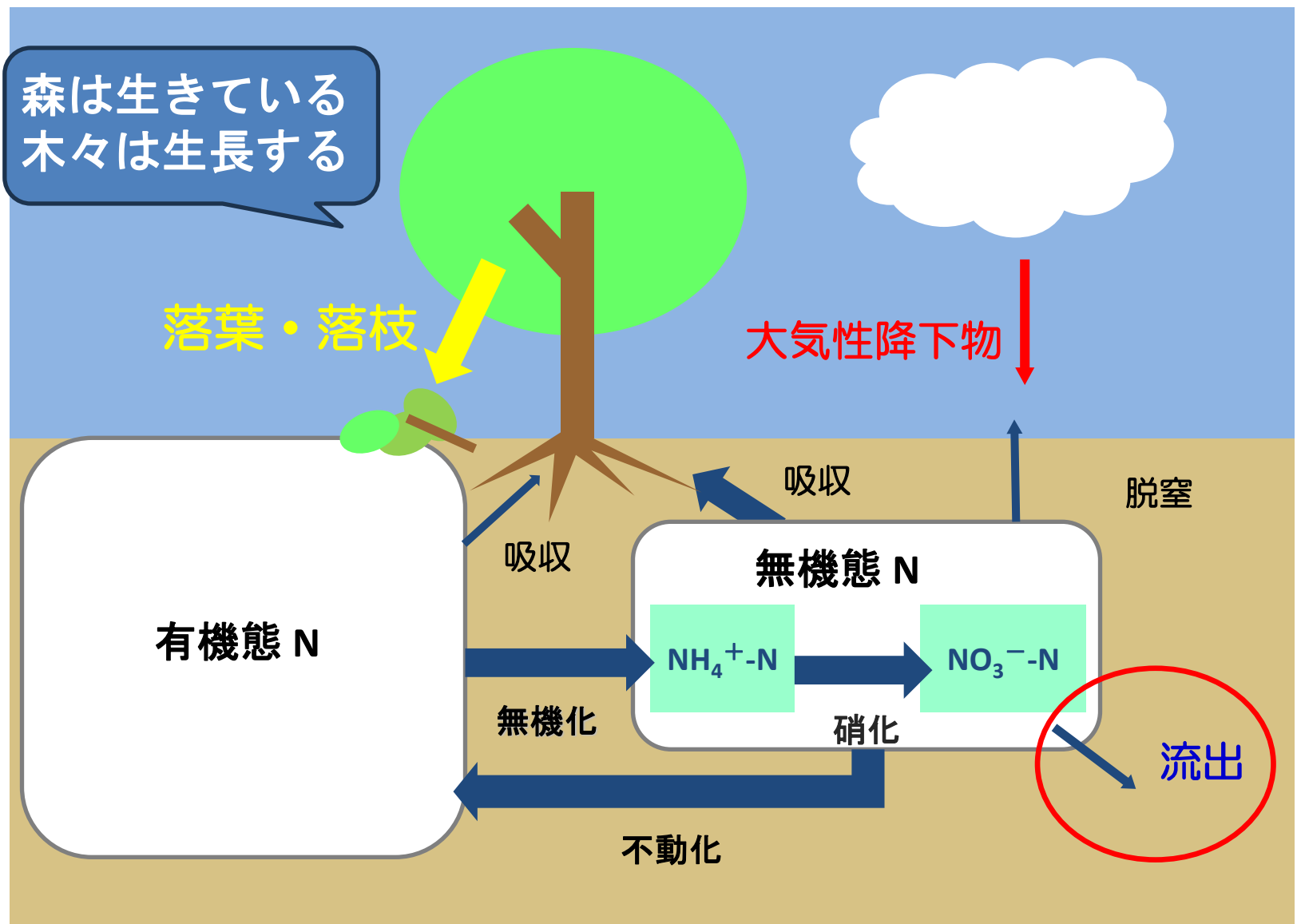
③ 大気性硫黄酸化物(SO_x)や窒素酸化物(NO_x)などを浄化する機能 → 森林自体は酸性化によるダメージ

④ 森が作るフルボ酸鉄が注目されている。しかし、沿岸海域での基礎生産への貢献は不明(日本の沿岸では溶存鉄は不足していない可能性)

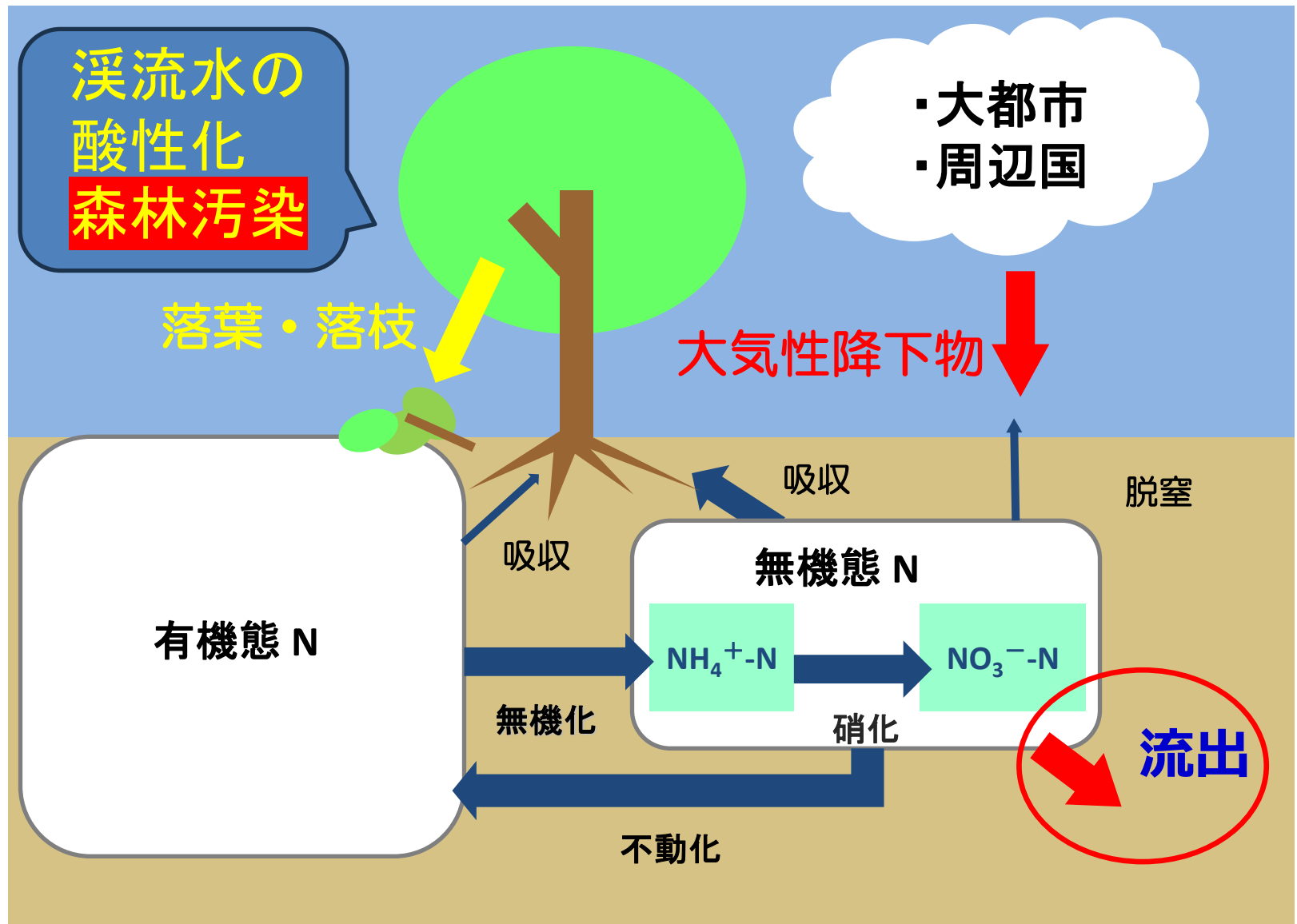
豊かな森の“栄養”が豊かな海を育む？



2, 3. 健全な森は栄養をあまり出さない



2, 3. 森林生態系の窒素飽和(不健康な森)



大分県国東半島 溶存態窒素・リン濃度分布

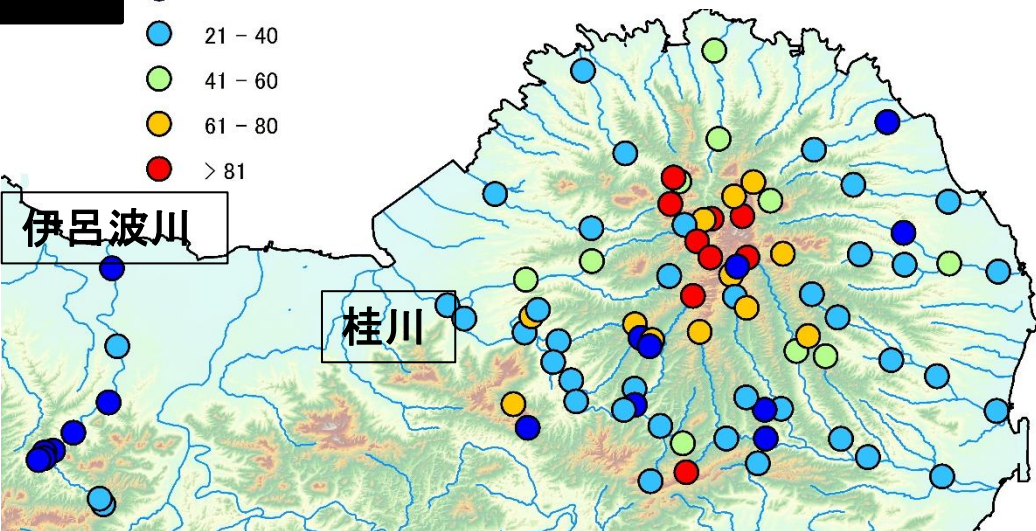
(森の窒素源は大気性降水物、しかし、渓流水への降下窒素寄与率 < 3.9%)

窒素

DIN_2015



森林からの供給が多い (窒素飽和)

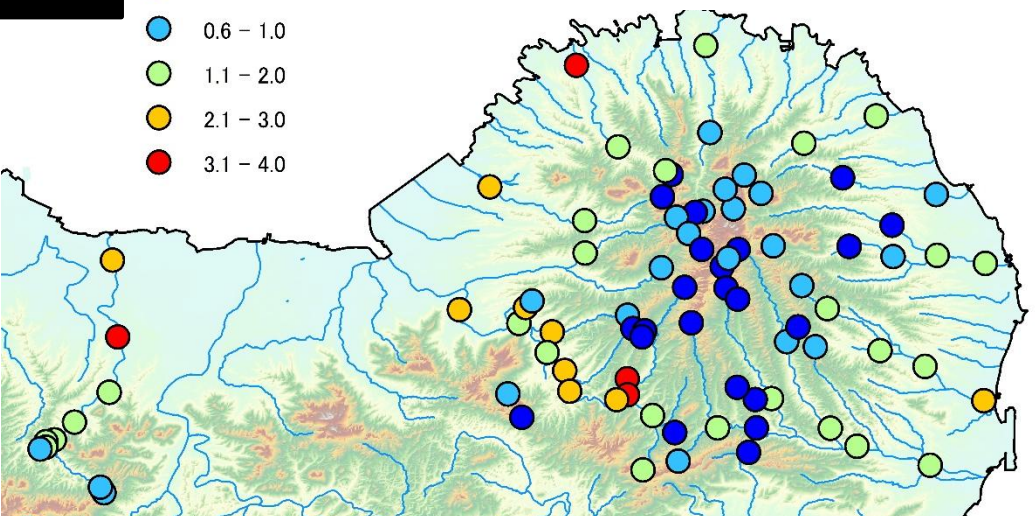


リン

DIP_2015



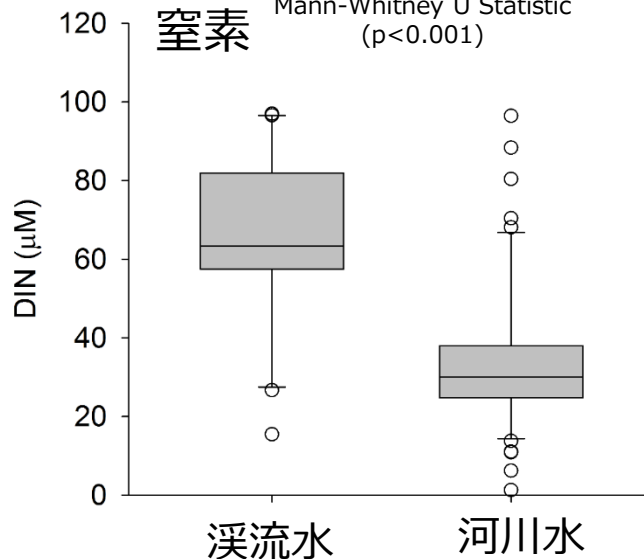
森林からの供給はあまりない



Sugimoto et al. (Nut Cycl Agro 2021)

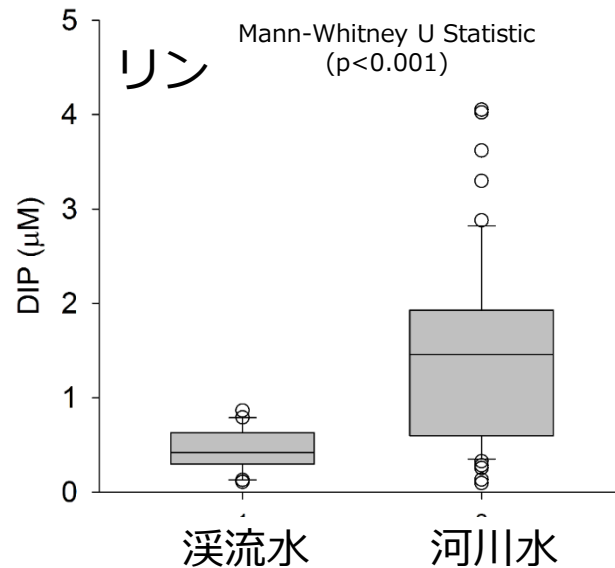
窒素

Mann-Whitney U Statistic
($p < 0.001$)

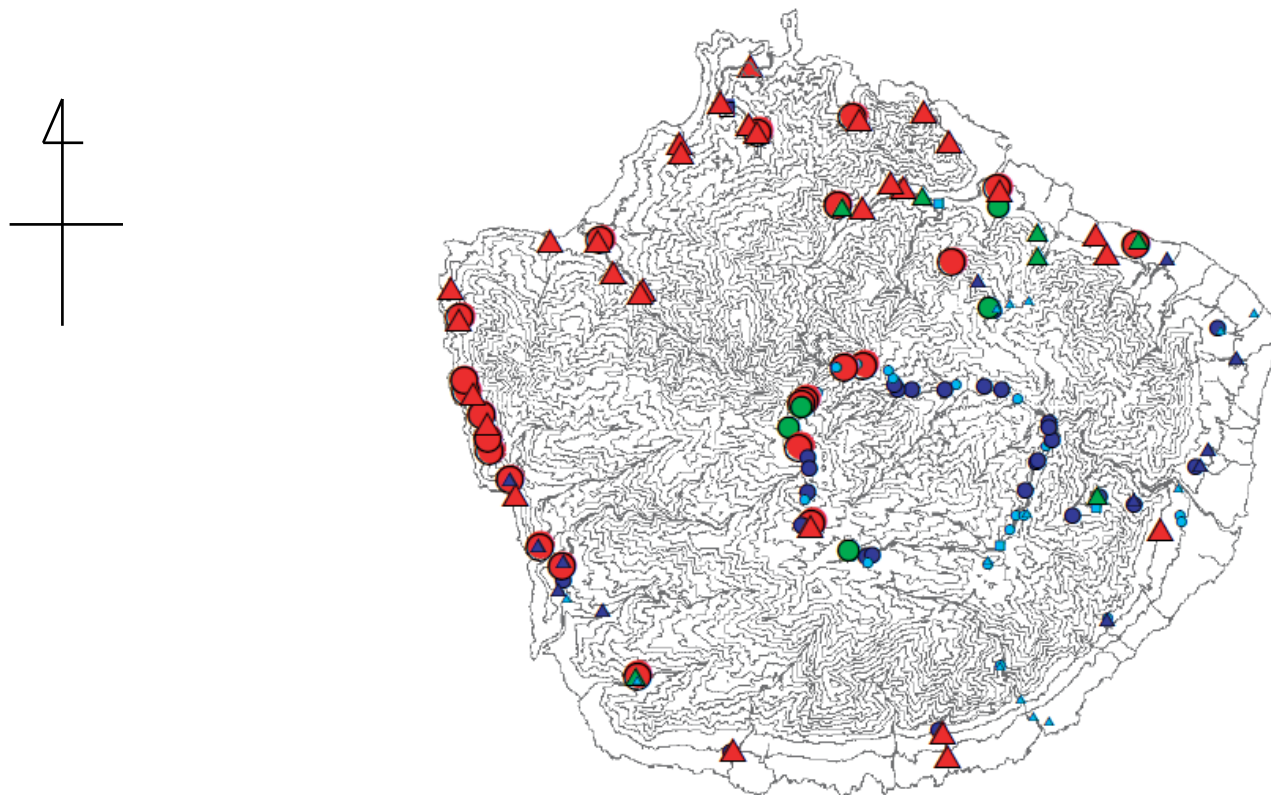


リン

Mann-Whitney U Statistic
($p < 0.001$)



屋久島河川水中の陸起源硫黄酸化物濃度



1996	1997	1998	pH	Cl	nssSO ₄
			5.27 - 6.04	0 - 4.9	1.6 - 4.35
			6.04 - 6.47	4.9 - 7.6	1.3 - 1.6
			6.47 - 6.70	7.6 - 10.0	1.0 - 1.3
			6.70 - 6.96	10.0 - 22.7	0.52 - 1.0

2. 水質浄化と 3. 栄養塩供給

2. 水質浄化(森林の水源涵養機能)

3. 栄養塩類の供給(窒素、リン、ケイ素、溶存鉄)

- ① 栄養塩類のバランスが重要(レッドフィールド比)
- ② 健康な森は栄養(特に窒素)をあまり出さない。一方、窒素飽和森林から出る栄養塩は、適度な範囲で水圏の生物生産にはプラス
- ③ 大気性硫黄酸化物(SO_x)や窒素酸化物(NO_x)などを浄化する機能 → 森林自体は酸性化によるダメージ
- ④ 森が作るフルボ酸鉄が注目されている。しかし、沿岸海域での基礎生産への貢献は不明(日本の沿岸では溶存鉄は不足していない可能性)

森・里・海をつなぐ要因

1. 水量調節（森林の緑のダム機能）

緑のダム機能＝洪水緩和機能・渇水緩和機能

学会でも議論「緑のダムの科学：蔵治・保屋野編 築地書館」

2. 水質浄化（森林の水源涵養機能）

3. 栄養塩類の供給（窒素、リン、ケイ素、溶存鉄）

4. 無機微細粒子（泥＝シルト・クレイ）排出と抑制

5. 有機物の供給と処理（河川・沿岸の機能）

6. 川と海の生物の生息と移動

7. 有毒物質（農薬、工場排水）

4. 無機微細粒子(浮泥)の排出と防除

由良川の源流



上流



清流の付着藻類

下流



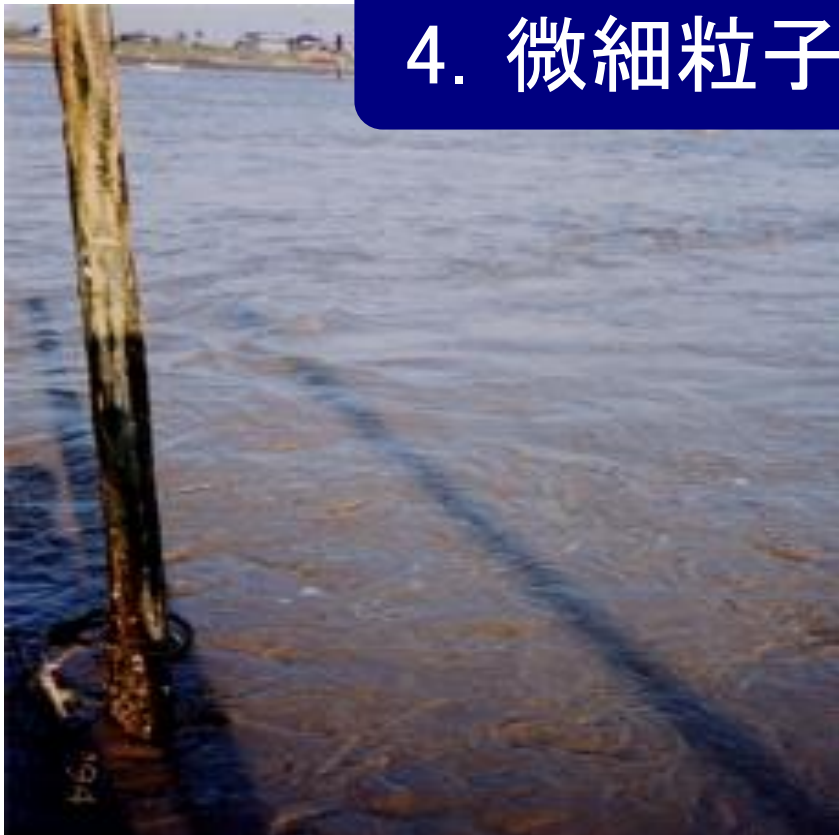
浮泥に覆われた河床

中流



(撮影: 益田玲爾氏)

4. 微細粒子は生態系を破壊



ーサンゴ礁生態系ー

- サンゴの死滅(共生褐虫藻の光合成阻害、サンゴの窒息)

ー岩礁生態系ー

- 巻貝幼生の着生阻害
- 海藻遊走子着生阻害、配偶体成長阻害と減耗

ー砂泥域生態系ー

- 二枚貝生息環境の悪化
- アマモの生育阻害

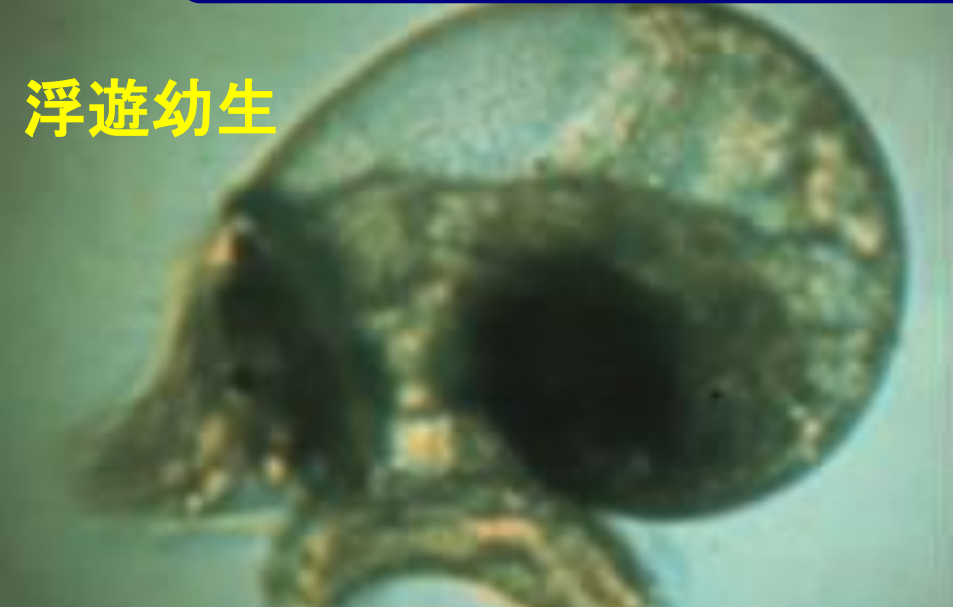
ー魚類ー

- 淡水魚の減耗(琵琶湖のニゴロブナ、アユ)



4. 浮泥は巻貝類幼生の着底を阻害する

浮遊幼生



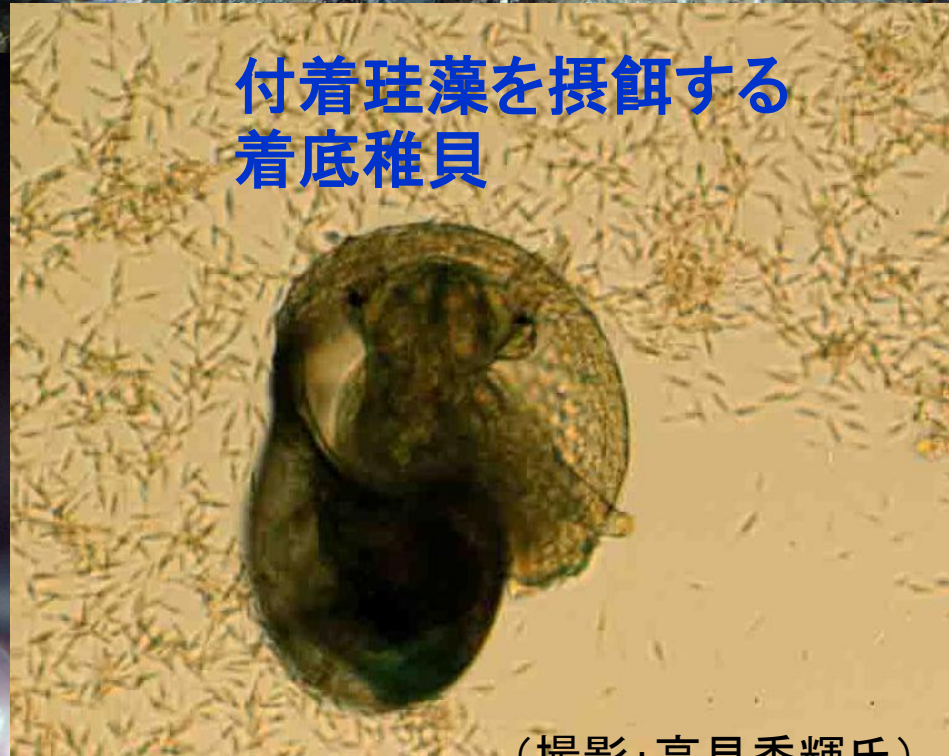
エゾアワビ



紅藻無節珊瑚藻上に着底したエゾアワビ幼生



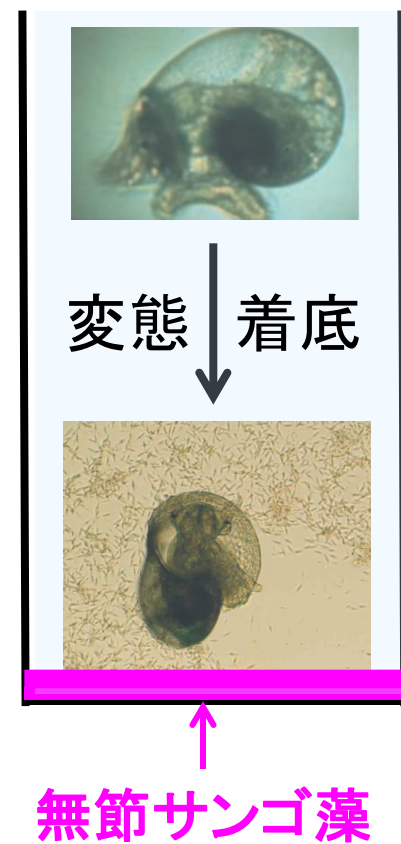
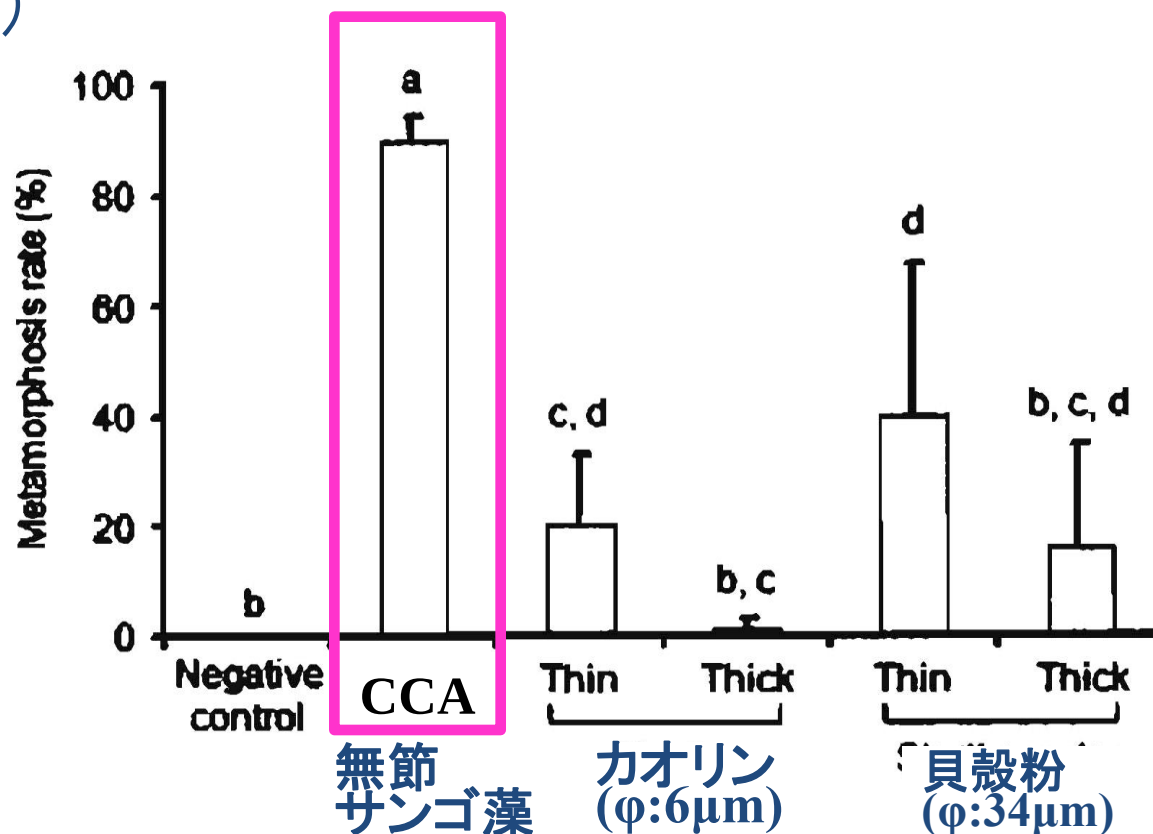
付着珪藻を摂餌する
着底稚貝



(撮影: 高見希輝氏)

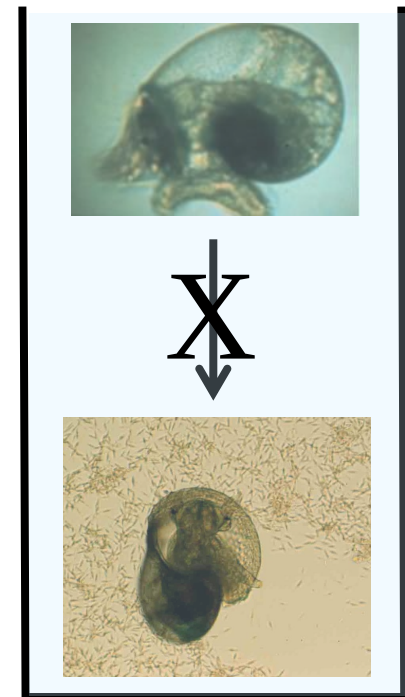
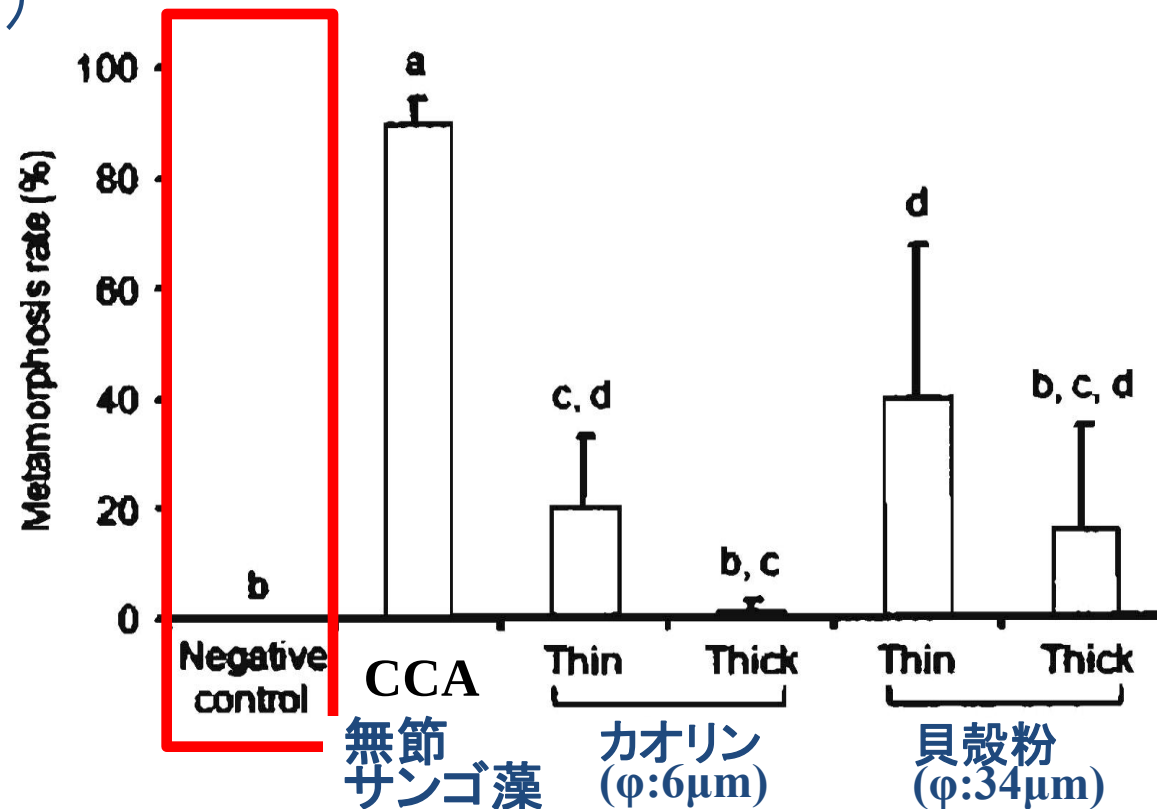
4. 浮泥によるアワビ幼生の変態・着底阻害

変態率
(%)



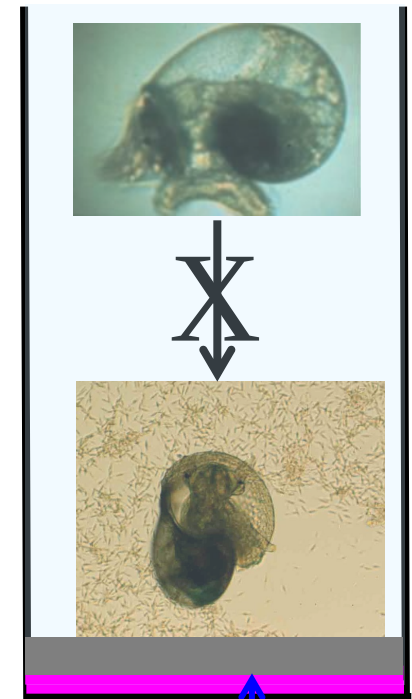
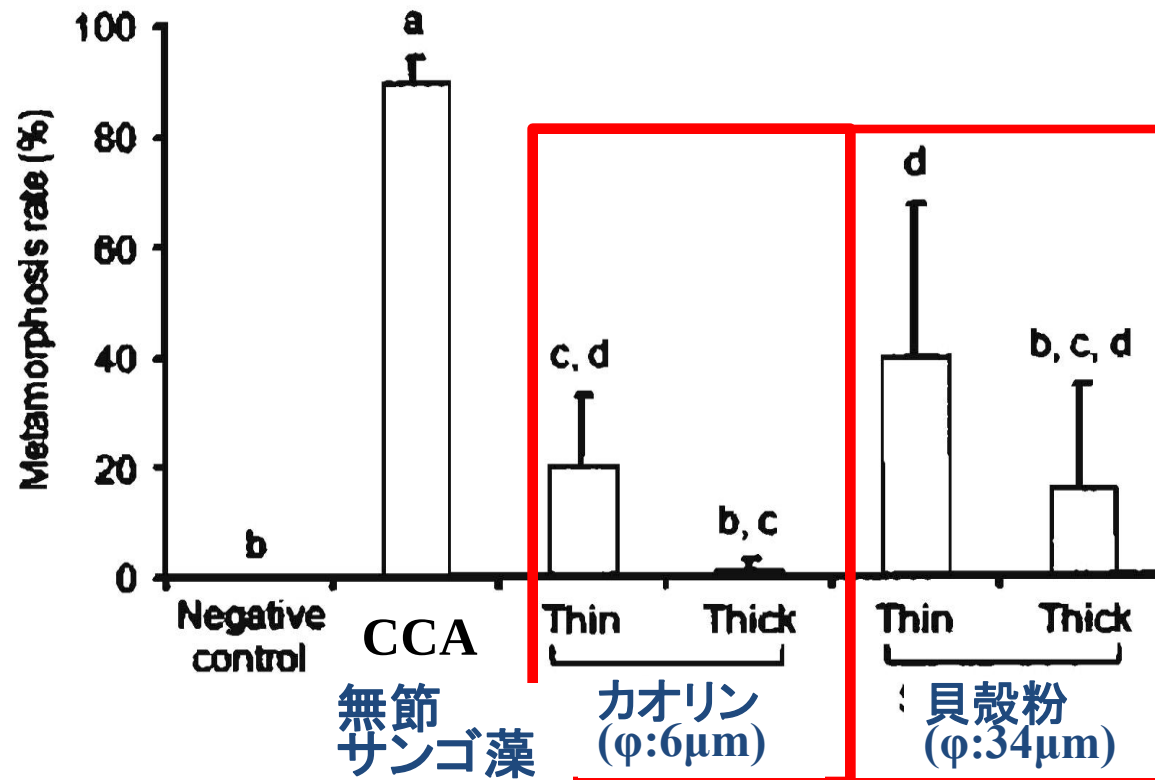
浮泥によるアワビ幼生の変態・着底阻害

変態率
(%)



4. 浮泥によるアワビ幼生の変態・着底阻害

変態率
(%)



微細粒子

4. 微細粒子の発生源

① 都市、土木工事

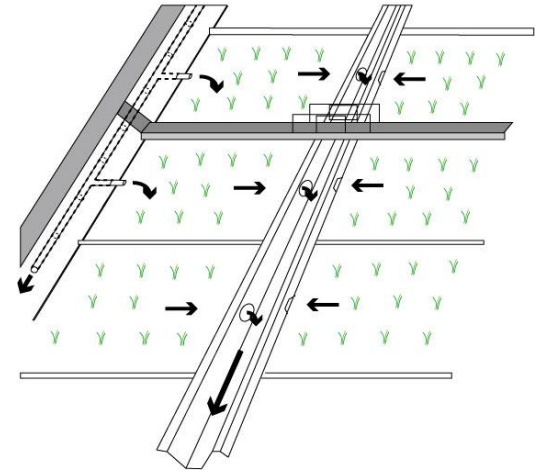
② 農地、放棄農地

③ 水田（圃場整備された水田）

④ 荒廃人工林（健全な森林は微細粒子の排出を抑制）

⑤ ダム（砂粒より大きな粒子は堆積し、
微細粒子だけを下流に排出→河床・沿岸
の泥化、砂浜海岸の後退）

➤ 無機微細粒子の河川・沿岸への流入の
抑制が重要



森・里・海をつなぐ要因

1. 水量調節（森林の緑のダム機能）

緑のダム機能＝洪水緩和機能・渇水緩和機能

学会でも議論「緑のダムの科学：蔵治・保屋野編 築地書館」

2. 水質浄化（森林の水源涵養機能）

3. 栄養塩類の供給（窒素、リン、ケイ素、溶存鉄）

4. 無機微細粒子（泥＝シルト・クレイ）排出と抑制

5. 有機物の供給と処理（河川・沿岸の機能）

6. 川と海の生物の生息と移動

7. 有毒物質（農薬、工場排水）

5. 河川を通した有機物の輸送

淵にたまった
有機物を水
生動物が摂
餌して無機化

蛇行する河川

森里海連環学2013(萱場祐一)より

5. 河川内で有機物を消費する

- ・河川が直線化、護岸され、河川に生息する動物のバイオマスが激減
- ・河川で有機物が消費されないために、陸起源有機物の多くが沿岸まで輸送
- ・瀬淵構造、自然な河原の再生など、河道の自然化により河川内での有機物の消費を促進



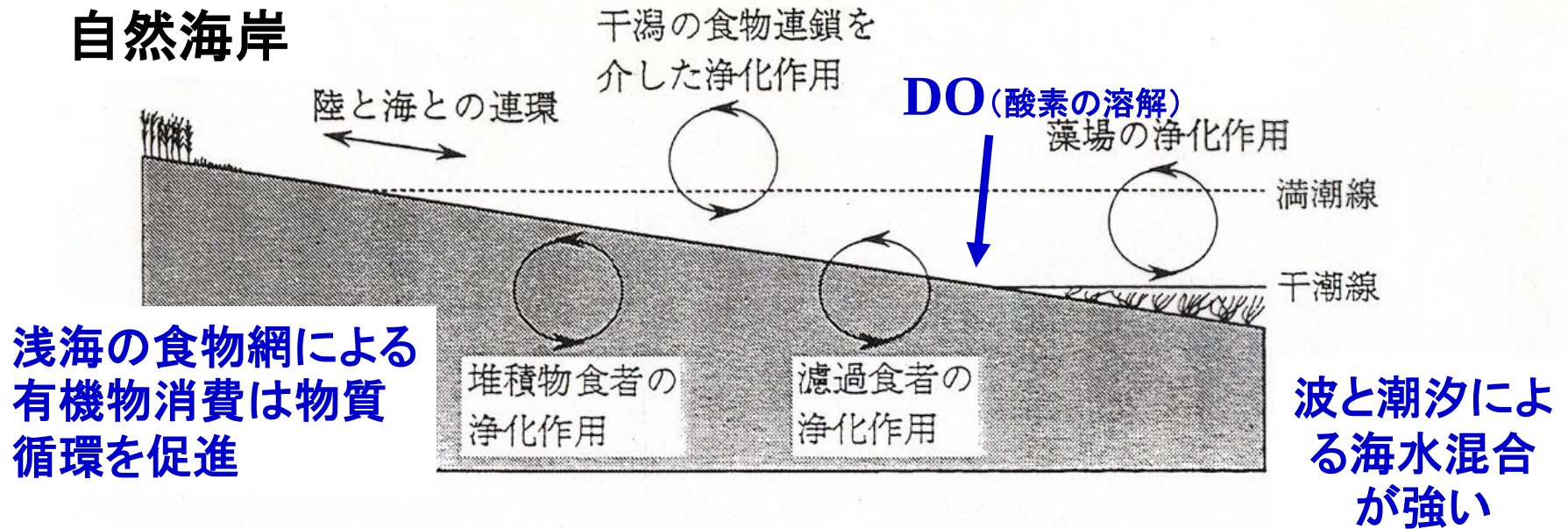
北海道 標津川再蛇行試験

森里海連環学2013(萱場祐一)より

直線化した河川を再度蛇行させて、生態系に与える効果のモニタリングをしている。基礎生産量、底生動物・魚類の生息量も増加

5. 沿岸に輸送された有機物の消費

自然海岸



有機物が溜まる

微生物分解

貧酸素

波と潮汐による海水混合が極めて弱い

埋め立て地

貧酸素水塊

有機物

埋め立てや構築物によって潮汐や海流が低下

(中田英昭氏作図を改変)

森・里・海をつなぐ要因

1. 水量調節（森林の緑のダム機能）

緑のダム機能＝洪水緩和機能・渇水緩和機能

学会でも議論「緑のダムの科学：蔵治・保屋野編 築地書館」

2. 水質浄化（森林の水源涵養機能）

3. 栄養塩類の供給（窒素、リン、ケイ素、溶存鉄）

4. 無機微細粒子（泥＝シルト・クレイ）排出と抑制

5. 有機物の供給と処理（川、沿岸の浄化・物質循環機能）

6. 川と海の生物の生息と移動

7. 有毒物質（農薬、工場排水）

6. 動植物が豊かなよい川を作る

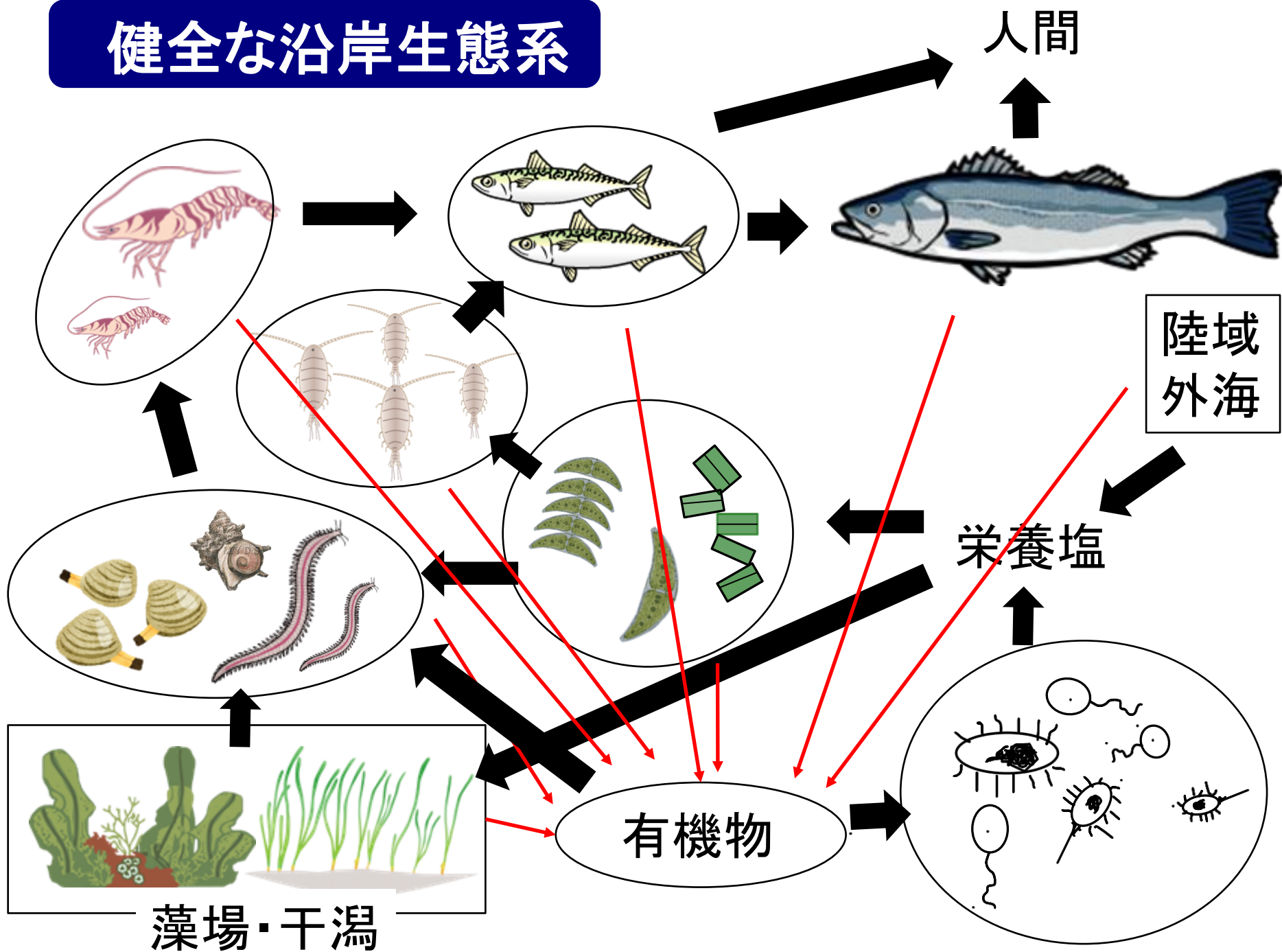
- ① 河川再生の目標（多様な目標が設定可能だが、例えば）
 - 松：天然アユがたくさんいる川
 - 竹：ニホンウナギが普通にいる川
 - 梅：水生動植物がいる川
- ② 河川横断構造物を減らす、実効性のある魚道
- ③ 瀬淵構造（河川の蛇行）、自然川岸、河畔林
- ④ 自然と親和的な科学技術の進歩：
近自然工法、グリーンインフラ技術
- ⑤ 河川法の中身を活かす：『治水、利水、環境』の
バランス、特に水生生物との共生

8. 沿岸浅海域の環境の保全と再生が不可欠

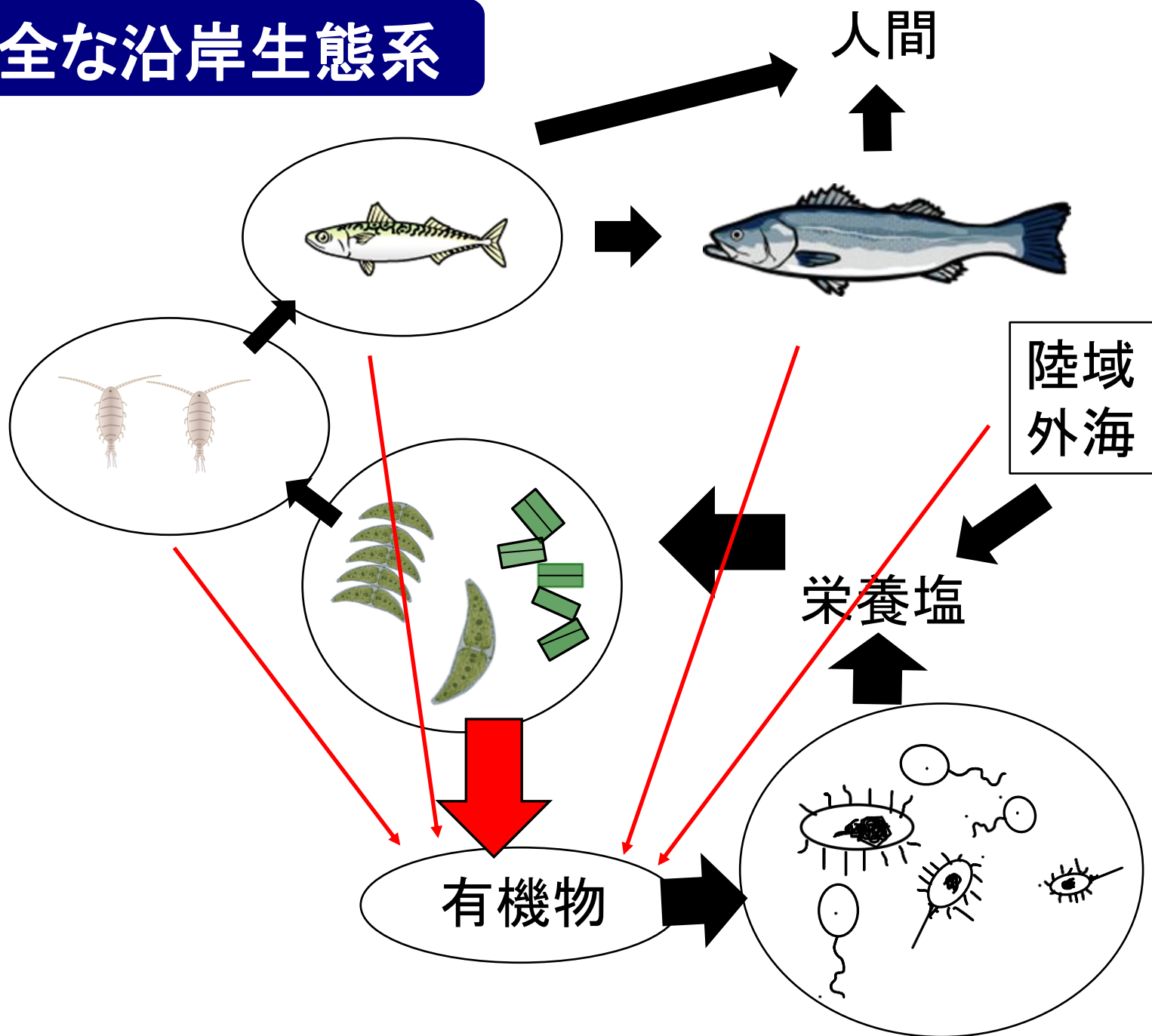
陸との相互関係を改善しても、浅海域の環境や生態系が劣悪だと『豊かで美しい海』は難しい

1. **浅海域**は魚介類の幼期の成育場、沿岸資源生物の採餌場、活発な物質循環の場として重要な役割を果たす
2. 自然環境は物質循環を促進し、健全な生態系を維持する：藻場、干潟、自然海岸
3. 海水の流動（潮汐流、沿岸流、エスチュアリー循環）は沿岸環境の保全にとって極めて重要
4. 沿岸域の最大の問題は貧酸素化（生物循環の再生）
5. 水温上昇を止めることは（県レベルでは）困難、より南の海を想定した漁業

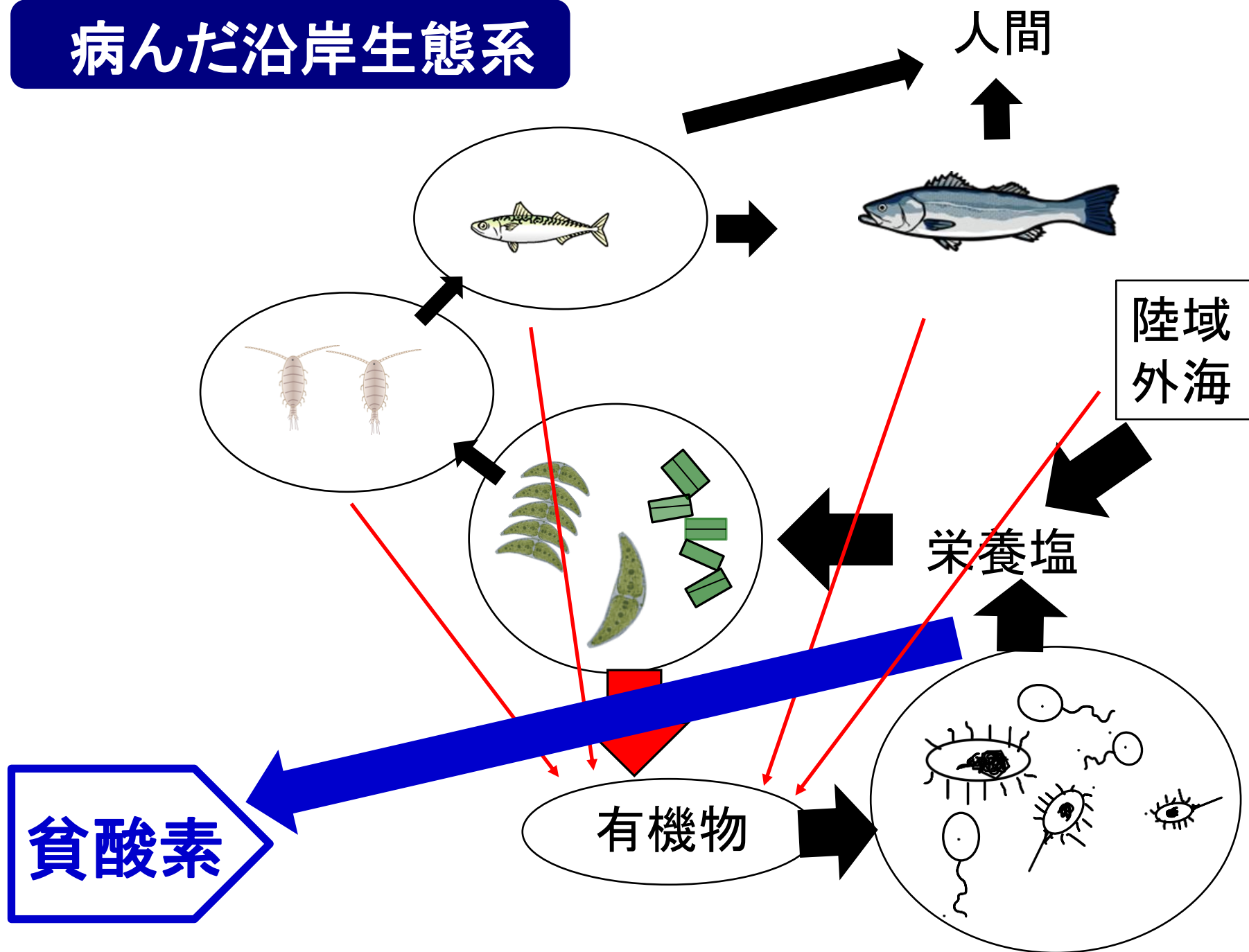
健全な沿岸生態系



不健全な沿岸生態系



病んだ沿岸生態系



内湾域の夏期の貧酸素化

溶存酸素(DO)

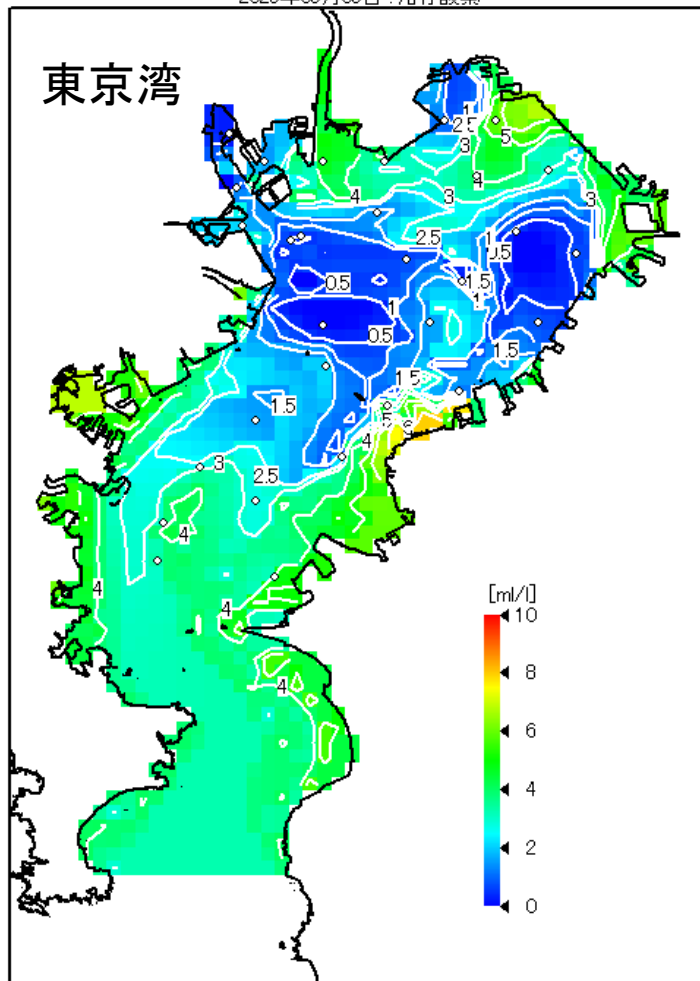
<4 mg/L: 水生動物不健康

<2 mg/L: 水生動物の多くが生存困難

<1 mg/L: 水道物のほとんどが生存困難

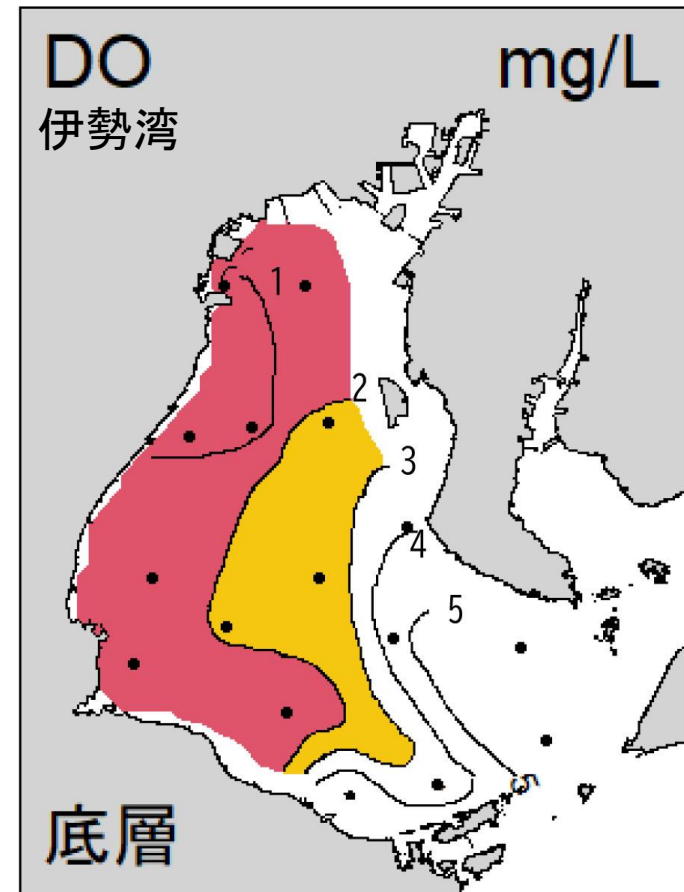
最新の調査による分布図

2025年09月09日: 溶存酸素



https://www.pref.chiba.lg.jp/pbcbsuis/hi/cbtk/04tk-suitei/04tksuitei003_1.htm

2025年9月3日(三重県水研)



底層貧酸素水塊分布図

<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/001215581.pdf>

水中有機物の微生物による利用により 酸素が失われる

有機物 + $\text{O}_2 \rightarrow$ 無機物 (貧酸素化)

好気性微生物

有機物 + $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$

嫌気性硫酸還元菌

$\rightarrow n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S}$
(有毒な硫化水素の発生)