

海洋変動

中塚 武

名古屋大学環境学研究所
地球環境科学専攻・地球環境変動論講座

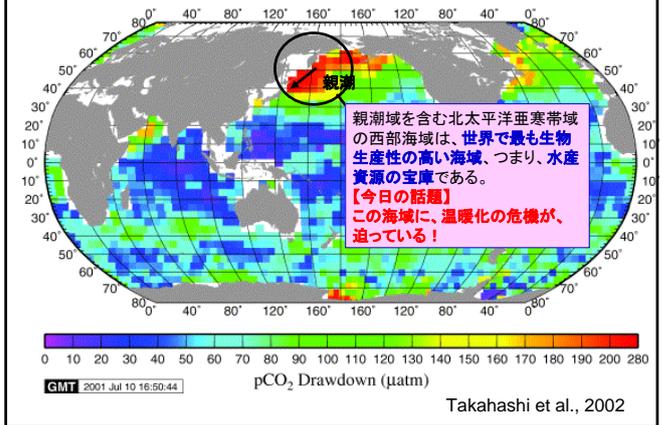
温暖化したら、海はどうなるのか？ —陸上(人間)側の論理—

- 1) 大陸氷床が融けたり、海水が膨張したりして、**海水準が上がる!**
⇒ 低地が浸水して、高潮被害が増大する、等々。
- 2) 海水温が上がって、**台風が巨大化する!**
⇒ 暴風雨による被害が増大。

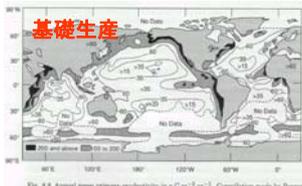
温暖化したら、海はどうなるのか？ —海(海洋生物)側の論理—

- 1) 海水の鉛直循環(対流)が不活発になって、**深層水が酸欠状態**になる!?
⇒ 底生生物の大量死など(富栄養化とも関係...)
- 2) 海水の鉛直・水平循環が不活発になって、**表面水が栄養不足**になる!?
⇒ 海洋の生産力が減少する(漁獲高にも、跳ね返る!)

海洋表面における二酸化炭素分圧の“生物による”季節変動幅の分布

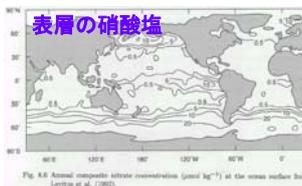


そもそも、海の生物生産(基礎生産)は、何が決めているのか？



『基礎生産(植物プランクトンによる光合成炭素固定量)の分布』

- 生産力が高い海域は、
1. 高緯度海域
 2. 赤道海域
 3. 沿岸海域



『海洋表層における硝酸塩(栄養塩の一種)の分布』

栄養塩濃度が高い海域は、基礎生産力が高い海域と一致。

生物生産量は、栄養塩が決めている。

海洋において、栄養塩とは、何か？ —海洋における栄養塩問題の基本—

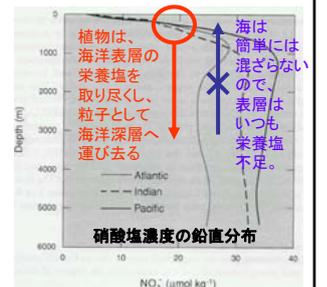
栄養塩とは？

生物生産に必要で、かつ不足しがちな元素(窒素、リン等)。炭素や水素も必要だが、栄養塩とは言わない。それでは、何故、栄養塩は不足するのか？

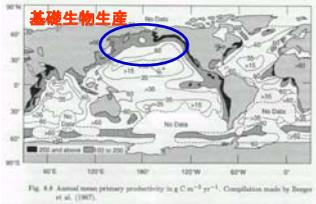
海洋における栄養塩問題の根源
「大気は、太陽光線を透過させるが、水は、殆ど透過させない」ということ

↓ その結果、

1. 光合成は、海洋表層のみで可能
= 植物プランクトンは、表層に集中
2. 大気は底から、海は上から暖まる
= 鉛直成層の発達(海は混ざり難い)



生物生産の規定要因(1) 栄養塩の供給速度



『生物生産力が、高いところ』には、

栄養塩を、下層から海洋表層に運び込む特別なメカニズムが存在する。

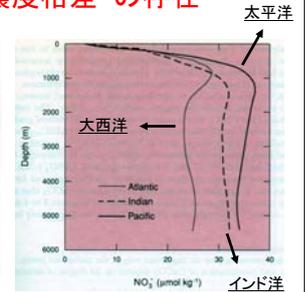
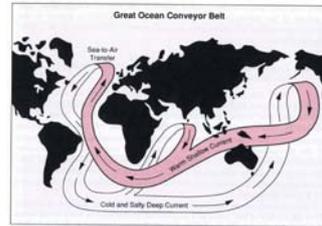
ということ！

高緯度海域において、栄養塩が大量に表層にもたらされるメカニズムとは？

『冬季の海面冷却による鉛直対流』

“北太平洋”の栄養塩濃度は、何故、特に高い？

深層水の大循環による北大西洋と北太平洋の間での“栄養塩濃度格差”の存在



深層水は、北大西洋から北太平洋へと、2千年かけて流れ、その間に、沈降粒子の分解により栄養塩を、水中にどんどん溜め込む。

硝酸塩(NO₃⁻)の濃度の比較

生物生産の規定要因(2) 栄養塩の利用効率

せっかく栄養塩を表層に運び込んでも、植物プランクトンにそれを利用する条件が整っていなかったら、意味が無い。

栄養塩を十分に利用するために必要な条件:

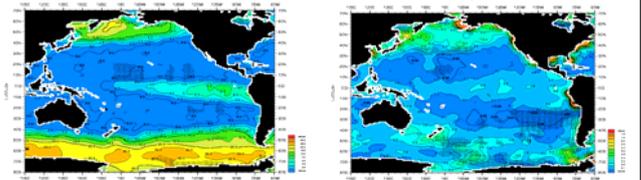
1. 『光』

=暗いところでは、光合成は、できない！

2. 『微量元素(鉄など)』

=窒素やリン等の主要栄養塩以外にも、実はマイナーな、しかし重要な栄養元素があった...

北海道東方の海の生産力を、実際に決めている要因は何か？

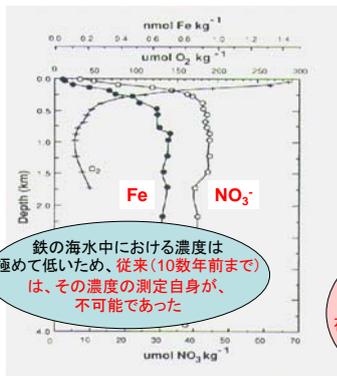


北海道の近海では、深層大循環の終着点であると共に、冬に海面が冷えて対流が起こり、深層から表層に、大量の窒素やリン等の栄養塩が上がってくるので、生産力が高い。

ただし、夏でも、表層水に大量の栄養塩が残存(光が当たるのに...) = 長年の謎 High Nutrient & Low Chlorophyll (HNLC) 海域

北海道東方沖の北太平洋で、夏の植物プランクトンの生産を制限している要因は、微量元素の1つ、「鉄」であった。

北太平洋亜寒帯域の夏の溶存鉄と栄養塩(硝酸)濃度



東部北太平洋亜寒帯域 (北緯50°、西経145°) (Martin et al., 1989)

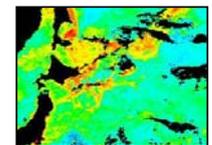
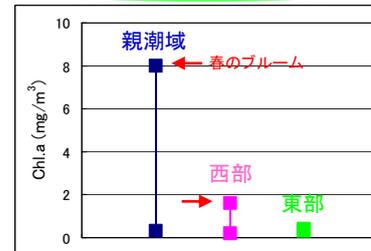
北太平洋亜寒帯域の表層では、栄養塩(硝酸塩)以上に鉄の不足が目立つ。つまり、栄養塩は未だ余っているのに、鉄の方が、先に枯渇する。

鉄の海水中における濃度は極めて低いため、従来(10数年前まで)は、その濃度の測定自身が、不可能であった

鉄は、陸上では非常にありふれた元素だが、水に溶けにくいので、海水中には、ほとんど存在しない。しかし、光合成や硝酸塩を取り込む際に使う酵素を作るには、欠かせない元素。

北太平洋亜寒帯域における植物プランクトンの増殖

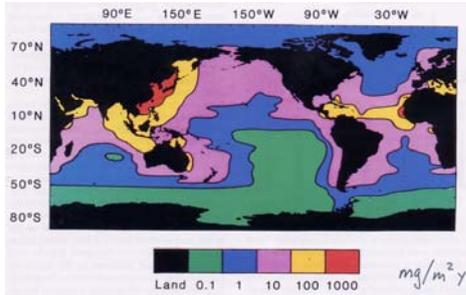
北太平洋亜寒帯域の東西での植物色素の季節変動



親潮域における春季の植物プランクトンブルーム

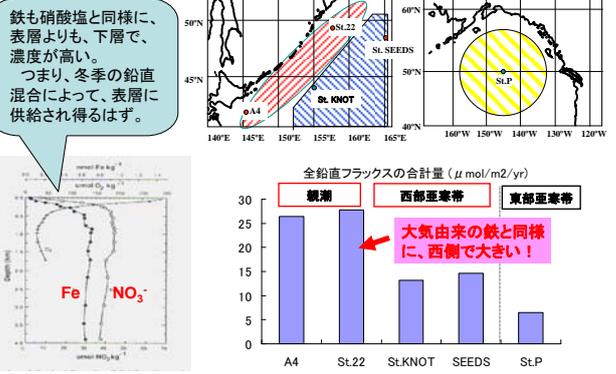
西部亜寒帯域および親潮域(北海道近海)では、東部と違って、植物プランクトンが、毎年必ず、春に大增殖する
→春の増殖を支える鉄は、どこから供給される？

海洋表層の鉄は、どこから来るか？
 一般的理解 (鉄は大気から...)

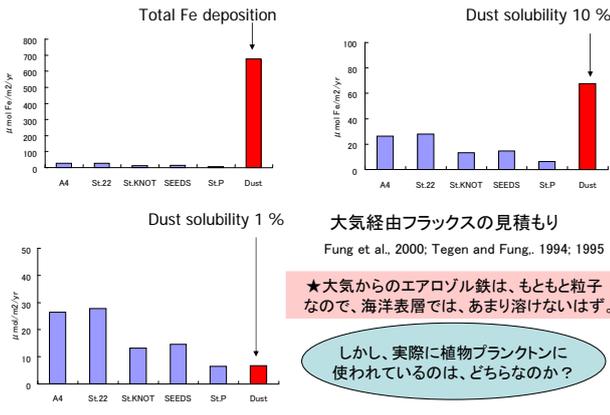


大気から海面に落下するエアロゾル態の鉄のフラックス
 Duce and Tindale, 1991

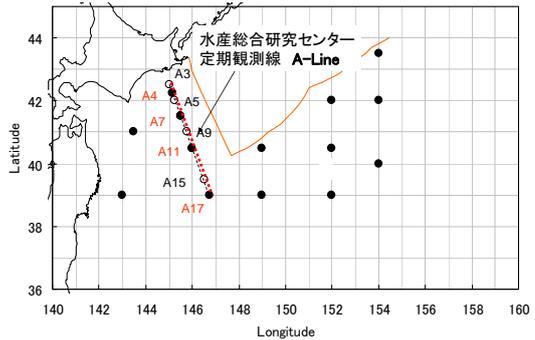
北太平洋における“下から”表層に供給される溶存鉄の見積もり
 (西岡、2004)



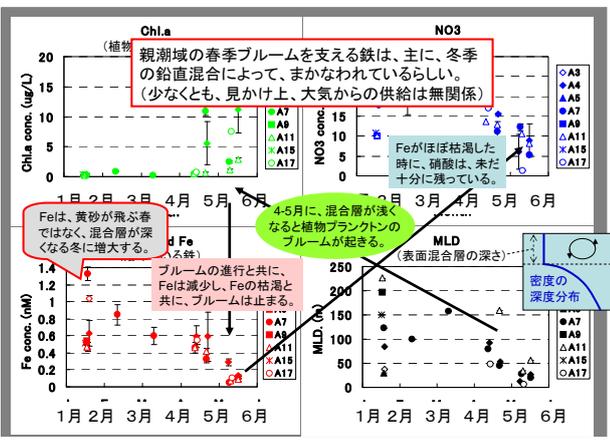
下層からの鉛直フラックスと大気経由のフラックスの比較



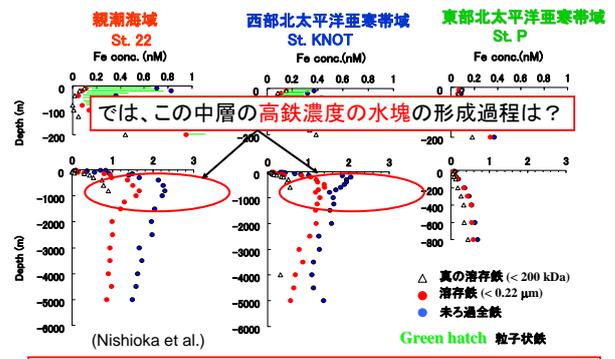
親潮域における溶存鉄の鉛直分布の季節変動観測
 -鉛直輸送された鉄は、春季ブルームに、どう利用されているか-
 (Nishioka et al., 2007)



1-5月までのAライン各測点の表層混合層内平均値の変化 (西岡ら)

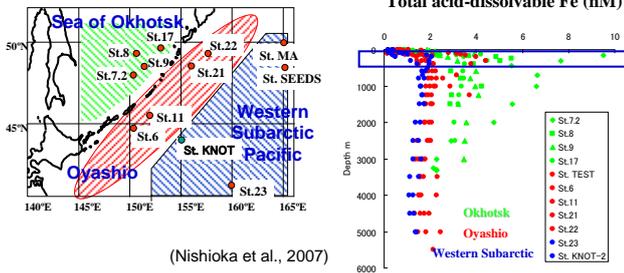


親潮域や西部北太平洋亜寒帯域では、鉄は、冬季の海水の対流によって、下層から供給される



表層混合層の下、中層に、鉄の濃度の高い水塊が存在する

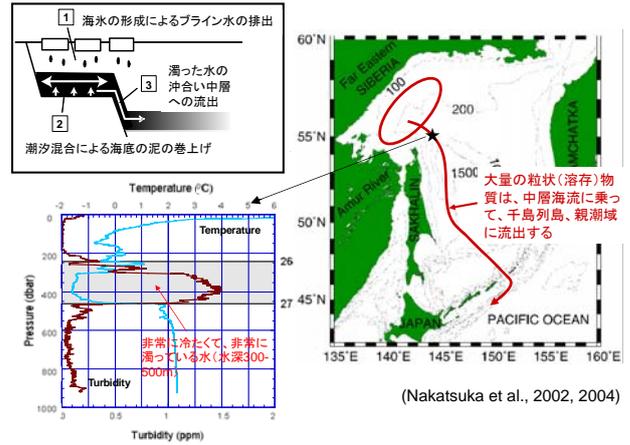
“中層鉄”は、オホーツク海から来る！



(Nishioka et al., 2007)

では、何故、オホーツク海の中層水中には、これほど大量の鉄が含まれているのか？

オホーツク海の中層水(深さ500m付近)に大量の鉄が含まれている訳とは？

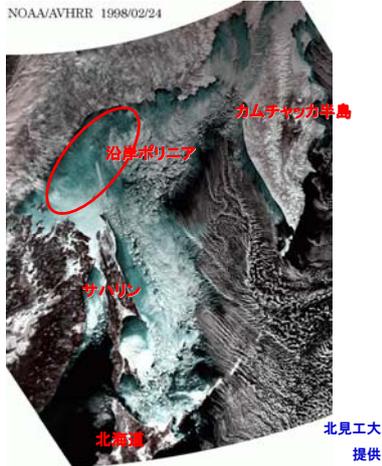


(Nakatsuka et al., 2002, 2004)

冬季のオホーツク海における海水と季節風の状況

東シベリアから吹く、冷たい冬季モンスーンによって、オホーツク海の北西部大陸棚の沿岸ポリニアでは、毎冬、大量の海水が形成される。

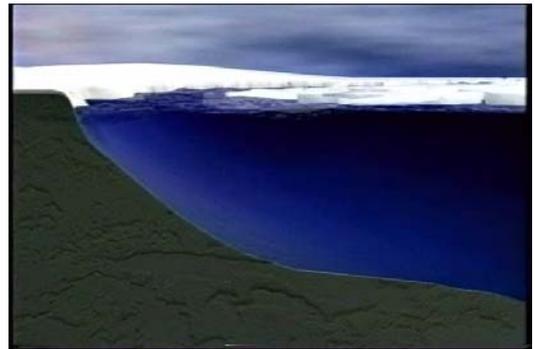
北西風と、南向きに流れる東サハリン海流によって、海水(と海水由来のブライン水)は、オホーツク海南部に運ばれる。



北見工大 提供

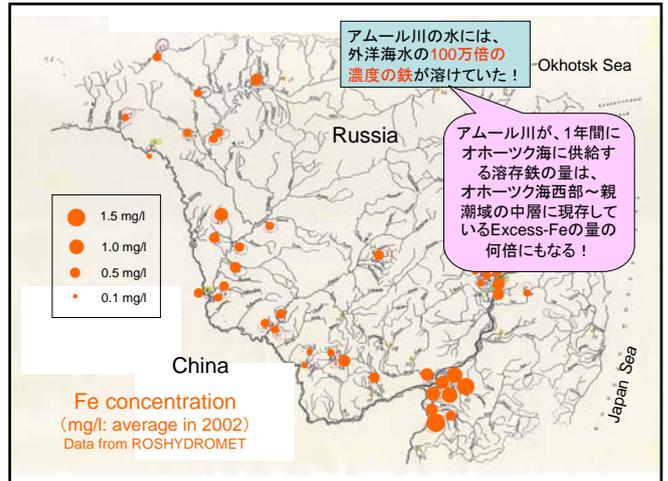
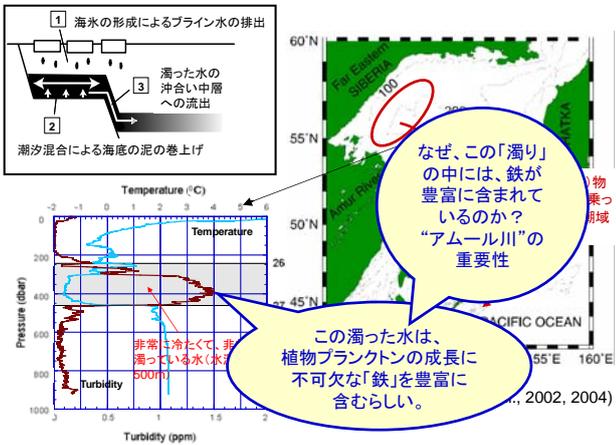
海水形成時のブライン水排出のイメージ

科学技術振興事業団 提供



海水形成時に、冷たくて塩分の濃い水(ブライン水)=高密度水が、海水から排出され、深さ300-500mの中層に沿って、オホーツク海の南部に流出する

オホーツク海の中層水(深さ500m付近)に大量の鉄が含まれている訳とは？

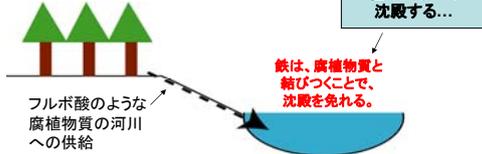


アムール川の水に、鉄が大量に溶けている理由

(1) 広大な湿地の存在—「酸欠」環境下での鉄の溶解

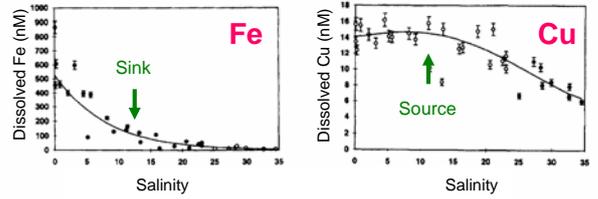


(2) 広大な森林の存在—「腐植物質」の供給



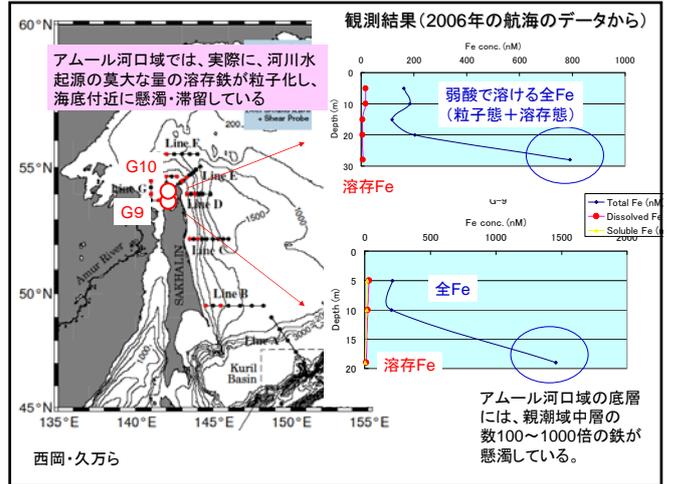
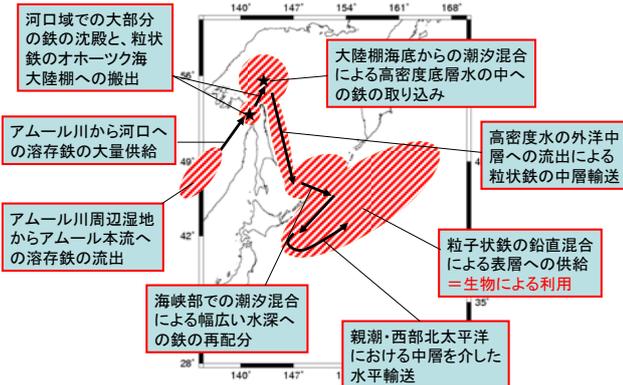
しかし、河口域で、塩分に触れると、ほとんどの溶存鉄は一旦、海底に沈殿してしまう
(粒子として大陸棚海底を経て、オホーツク海の中層へ)

レナ川河口の場合 (Guieu et al., 1996)

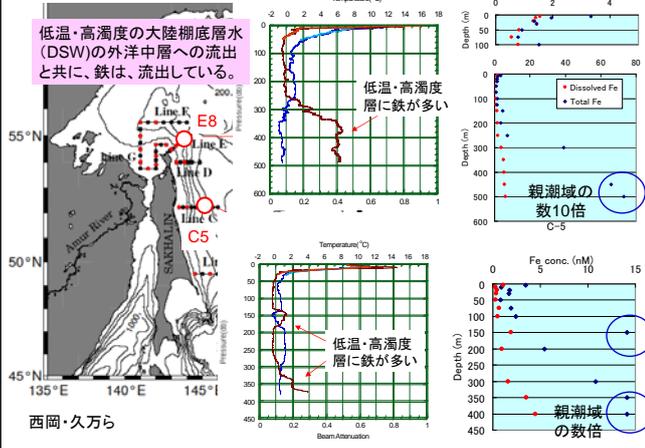


河川水中のほとんどの溶存鉄は、コロイド状であり、それらは河口域で海水と触れると、凝集して、極細粒の粒子となって、沈殿してしまう。
★一部は、そのまま、東サハリン海流に乗って、オホーツク海を南下するが、大部分は、河口で落ちる。

想定される「アムール川」が「親潮域」の生物生産を支えるプロセス—中層水鉄仮説—

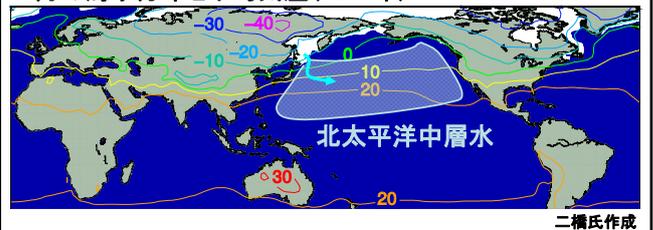


観測結果 (2006年の航海のデータから)



グローバルな目でみたオホーツク海

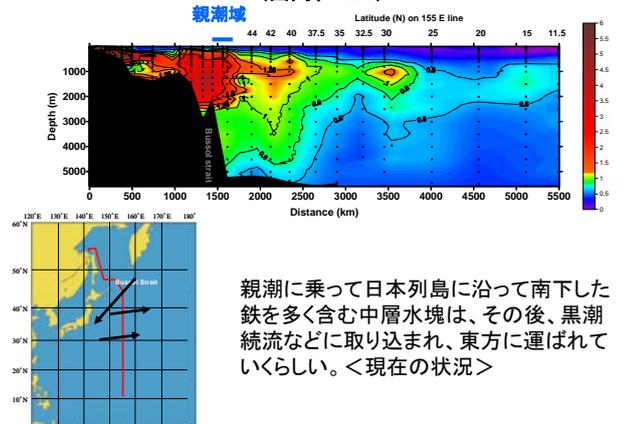
2月の海水分布と平均気温 (2001年)



・北半球における海水域の南限 → 海水の年々変動大

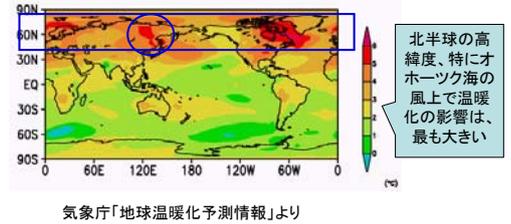
・北太平洋で唯一大気に接した水が中層へ潜り込まれる海 → 大気・陸からの熱・物質を北太平洋中層水(400-800m)へ

オホーツク海及び西太平洋の東経155度に沿った溶存鉄の南北分布 (西岡, 2009)



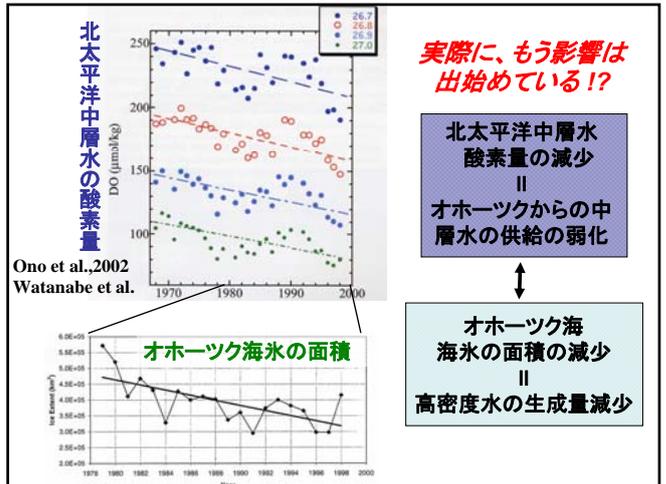
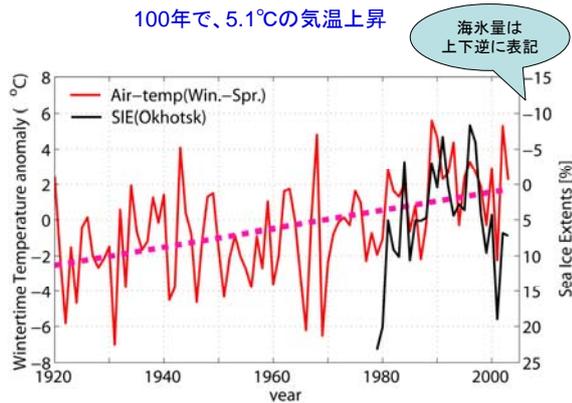
最大の問題としての、地球温暖化！

大気中のCO₂濃度が、年率1%で増大した場合の100年後の地球の年平均気温の変化

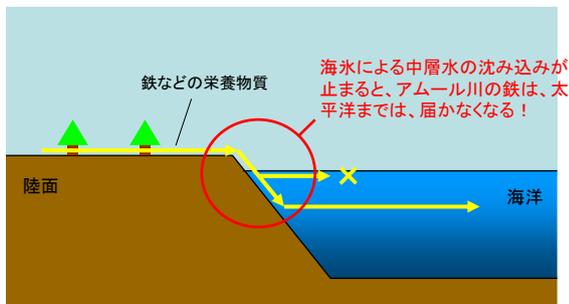


オホーツク海沿岸での冬の気温と海水量の過去80年間の変化

100年で、5.1℃の気温上昇

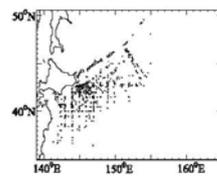


表層ではなく、中・深層に入り込むことでのFe輸送における重要性



★遠方までの輸送 (鉄のような、栄養物質で、かつ粒子化し易い物質の場合、表層だと直ぐに生物に消費されたり、生物に吸着して沈降したりするが、中層だと、生物が少ないので、どこまでも運ばれる...)

西部北太平洋亜寒帯域 (親潮域) における過去数10年間の植物プランクトン量の減少



Ono et al. (2002)

温暖化による2つの影響
1. 鉛直混合自身の低下
2. 鉄の水平輸送の低下

表面混合層におけるクロロフィルaの存在量の変化

