

2007年12月12日

# 北陸学総論

北陸の陸と海ー日本海と日本アルプスのはざまでー

## (2) 日本海の海洋環境変遷史

金沢大学環日本海域環境研究センター  
塚 脇 真 二



## 本日の講義の概要

- まず質問への回答から
- 「縁海」とは何か: どうやってできるのか?
- おさらい: 日本海の形成
- 縁海的作用と地球環境における重要性
- 日本海の海底地形
- 日本海の特徴
- 世界的海水準変動と日本列島
- 海洋環境変動をどうやって調べるか? (VTR)
- 実際の海洋調査 (VTR)
- 日本海の海洋環境変遷史

## 前回もらった質問への回答(1)

1. アフリカのこのへんはいずれ切れてアフリカが完全な島になるということですか? むりやり埋め立てたり橋をかけたりしたら止められますか? (K)
2. フォッサマグナは西南日本弧と東北日本弧が衝突したことによってできたのですか. それとも関係ないのですか? (K)
3. 日本は再び2つに分かれる可能性はあるのですか? (K)
4. 当時あった火山が海底火山か, そうでないかはどのように判断するのですか? (K)
5. なぜ金沢には層の数が多いのですか? (K)
6. 新しい海溝ができるのはいつ頃ですか? (K)
7. 地質調査により何百万年前という時代の生物の化石などが見つかると, その時代にどんな生物がいるのか分かるということでしたが, その時代を特定するための北陸での示準化石, 示相化石は何か疑問に思いました. (K)

## 前回もらった質問への回答(2)

1. 地震を起こす断層と起こさない断層はどのように見分けているのですか? (K)
2. 地質とか地層は調べられる所が限られてしまっているように思うけど, 特に都市部ではなかなか調べられないように思うけど, 実際はどうなのか? 発達した都市部の地質とかはどのように調べてるのか? (K)
3. 楽しい授業でした. 地球学科の野調とは違うんですか? (K)
4. 自分は登山をしているのですが, 先生は調査で山に登ることはあるのですか? (K)
5. この間の能登地震の際に聞いたのですが, 日本海沿岸の地質調査というのはあまりなされていないのでしょうか. (K)
6. 金沢市内の危険な断層をさらに詳しく教えてください. (K)
7. ゾウなどはどのくらいの距離を泳いで大陸から日本に渡ったのか. (F)
8. 地質図はどんな道具を使用してとるのか. (K)

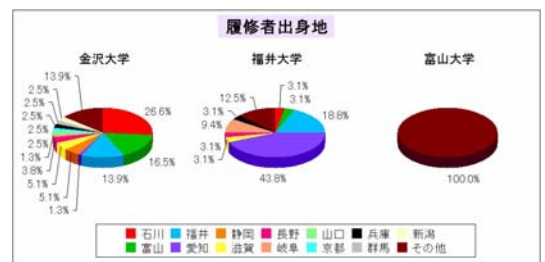
## 前回もらった質問への回答(3)

1. 地層はどれくらいかたまっているものなんですか. (K)
2. 先生はいつごろから地質学に興味をもたれたんですか. (F)
3. なぜ地質学に興味をもったのですか. (K)
4. 森本断層はいつ頃地震をおこすのでしょうか? また, もう一つの断層(金大のうしろにある)はなぜ地震を起こさないといえるのでしょうか. (K)
5. なぜ小松の断層は地震がおきないと断言できるのですか. (K)
6. 先生は工学部の何学科の人たちと研究しているんですか? (K)
7. 西南日本と東北日本がぶつかったのは, 地震があつて列島の下断層が動いたからなのではないでしょうか? (K)

もらったコメントはホームページに掲載しています.  
<http://mekong.ge.kanazawa-u.ac.jp>

## ついでながら: ミニツツペーパーから

● 履修者の出身地別分布グラフを描いてみました



## ついでに自慢もうひとつ

- 学生が「面白いと思う授業」の2位と10位に入りました。ひとりでやっている授業に限れば1, 2位です。



Q4 あなたが面白いと思う授業は？

👑 **コーヒーの世界** 13名

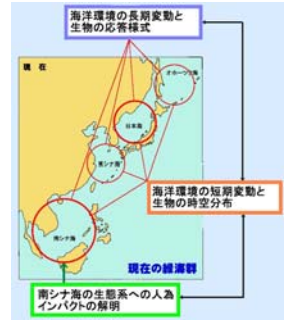
👑 **英国植民地の歴史** 11名

👑 **ドイツ語** 11名

4位	21世紀を生きるためのキャリアアップ	11名	9位	10位	心理学	4名
5位	日本国憲法概説	8名			音楽I	
6位	金融学入門I	7名			化学	
	中国語				有機化学	
8位	公共政策入門I	6名			イノベーション創出	
9位	初学者的ゼミ	5名			海の地質学	

## 自己紹介(再):いまやっていること

- 日本海における後氷期海洋環境発達史・海底堆積史
- ▶後氷期とはおよそ2万年前から現在まで。
- ▶最終氷期最大期(約2万年前)には海面がいまより約100m低く、完新世高頂期(約6千年前)には約1m高かった。
- ▶海面の変化によって日本海はどのような影響を受けながら現在の姿になったのか。
- ▶では、日本海は将来どのように変わっていくのだろうか。

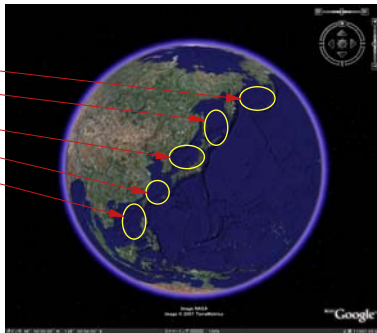


## 「縁海」とは何か？

### ■縁海の分布

- ▶ベーリング海
- ▶オホーツク海
- ▶日本海
- ▶東シナ海
- ▶南シナ海

地球上で最大の大陸「ユーラシア」と最大の海洋「太平洋」との境界に並ぶ海。



## 縁海:ほかの大陸縁辺域では

- ほかの大陸縁辺域に縁海はほとんど発達しない



北米・南米大陸



アフリカ大陸

## 縁海:なぜ存在するのか(1)

- インド亜大陸がユーラシア大陸に衝突(約7000~5000万年前)
- ヒマラヤ山脈・チベット高原の隆起(大陸のシワ)
- ユーラシア大陸にヒビが入る→縁海形成のきっかけ

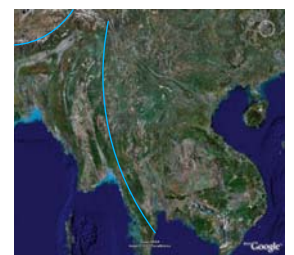


## 縁海:なぜ存在するのか(2)

- インド亜大陸衝突の痕跡(バイカル湖と東南アジア西縁部)



バイカル湖:大陸のひび



東南アジア西縁部:大陸のしわ

## 縁海:なぜ存在するのか(3a)

- カステラを使ってのモデル実験



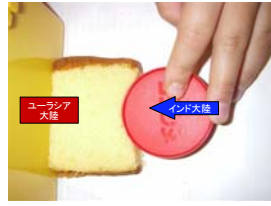
ちょっと高級なカステラ  
(¥420もした・・・)



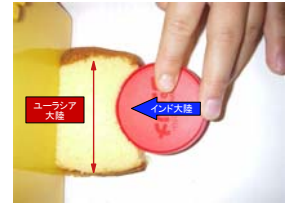
これでインド亜大陸の衝突を再現してみる。

## 縁海:なぜ存在するのか(3b)

- カステラを使ってのモデル実験



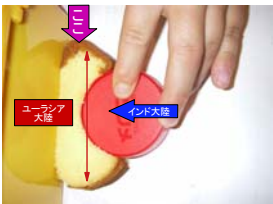
インド大陸がユーラシア大陸に衝突する。



ユーラシア大陸が左右に膨らみはじめる。

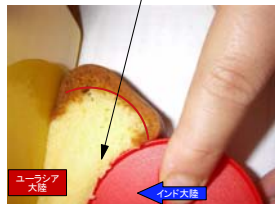
## 縁海:なぜ存在するのか(3c)

- カステラを使ってのモデル実験



膨らんだユーラシア大陸の縁に亀裂が生じる。

このあたりの盛り上がりがヒマラヤ



カステラが高級すぎて割れなかった・・・でも乾かすのはもったいない・・・

## 縁海:なぜ存在するのか(4)

- カステラを使ってのモデル実験



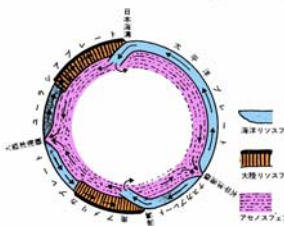
大陸縁辺のヒビ



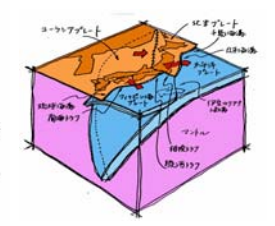
山脈の隆起

## 縁海:なぜ存在するのか(5)

- プレートテクトニクス:太平洋プレートの沈み込み



ユーラシアプレート(大陸リソスフェア)の下に太平洋プレート(海洋リソスフェア)が沈み込む(深尾, 1985)。



いずれのプレートも球面であるため、沈み込む海洋プレートはむりやり曲げられながら沈み込むことになる(島村, 1993)

## 縁海:なぜ存在するのか(6a)

- 海洋プレートも大陸プレートもこんな平面ではない



海洋プレート

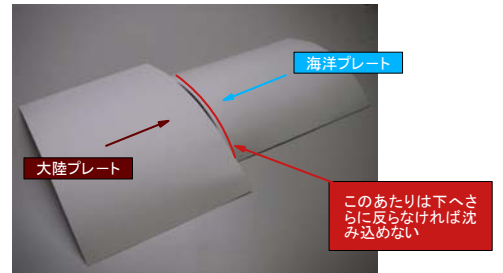
## 縁海:なぜ存在するのか(6b)

- 沈み込み帯付近の海洋プレートはこんな形状に近似できる。



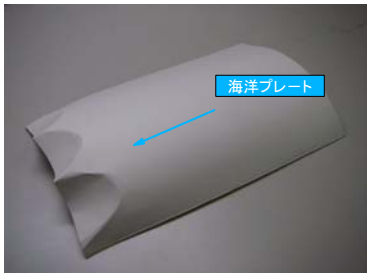
## 縁海:なぜ存在するのか(6c)

- 大陸プレートの下に海洋プレートが沈み込むあたりのモデル。



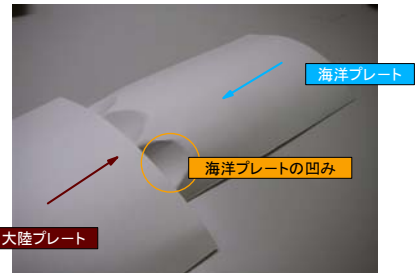
## 縁海:なぜ存在するのか(6d)

- 下へさらに反った海洋プレートの先端はこんな形状になる。



## 縁海:なぜ存在するのか(6e)

- 海洋プレートの先端には沈み込むときに凹みができる



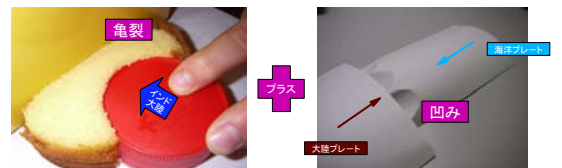
## 縁海:なぜ存在するのか(6f)

- クッキーの抜型が同じ形状をしていることで理解できるかも。



## 縁海:こうやって形成される

- 大陸縁の亀裂の形成と海洋プレート先端の凹みの相互作用



ユーラシア大陸東縁にできた亀裂の外側(大陸のかけら)が海洋プレート先端にできた凹みに沿って海の方へ弧状に移動した→縁海と島弧の形成

## 日本海の形成(1: 前回のおさらい)

- いまから約2,500万年前, ユーラシア大陸の縁に亀裂ができた.
- 約1,900万年前になるとその亀裂に海水が入り込んできた.
- 約1,700万年前にはその亀裂が拡大し暖流が流れこんできた.



## 日本海の形成(3: 日本海の完成)

- 約1,450万年前に日本海の拡大が終了し, 日本海は収縮に向かうようになった→西南日本弧と東北日本弧の衝突.
- 約500万年前になると水没していた東北日本が隆起する.
- 約1万8千年前には海面低下で北海道が大陸と地続きになる.

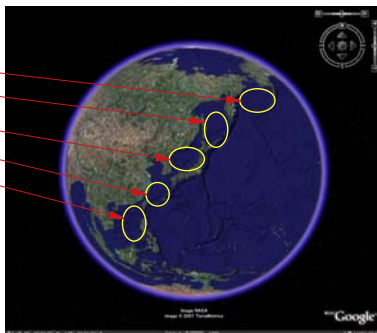


## 縁海: 改めて紹介します

### ■ 縁海

- ▶ ベーリング海
- ▶ オホーツク海
- ▶ 日本海
- ▶ 東シナ海
- ▶ 南シナ海

最大の大陸「ユーラシア」と最大の海洋「太平洋」との境界には「縁海」が並ぶ.



## 縁海役割(1: 気候の緩衝地帯)

- 地球上の環境は大きくふたつに区分できる.
- 大陸環境: 熱しやすく冷めやすい.
- 海洋環境: 熱しにくく冷めにくい.
- 縁海は両者の緩衝地帯として機能している.
- 変化に富みながらも温暖な気候の提供.



## 縁海役割(2: 堆積物の貯留地)

- 大陸は浸食の場であり海洋底は堆積の場である.
- ユーラシア大陸には大河が多い(メコン河, 黄河, など)
- 縁海は大陸からの堆積物の一時貯留地として機能する.
- 変化に富んだ海底地形の現出.
- 地殻変動を軽減する効果?



## 縁海役割(3: 文明の十字路)

- 古代人にとって海は障害ではなく, よい交通路だった.
- 船があれば密林/砂漠の大地よりたやすく安全に移動できる.
- 太古から現在まで縁海は沿岸諸国の文明の交流の場となっている.
- 中国・朝鮮と日本
- 東南アジアの大陸と島嶼, など



## 縁海についてまとめておきます

### ■縁海の形成機構

- 地球上最大の大陸「ユーラシア」と最大の海洋「太平洋」の境界にある。
- インド亜大陸のユーラシア大陸への衝突と、沈み込む巨大な太平洋プレートとの相互作用で形成された。



### ■縁海的重要性

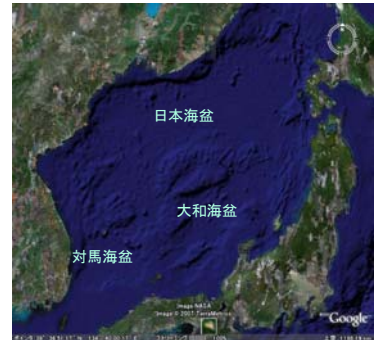
- 大陸気候と海洋気候の緩衝地帯
- 大陸からの堆積物の一時貯留地
- 文明の十字路口
- など



## 日本海の海底地形(1:海盆)

### ■深海域は3つの海盆(海底盆地)に区分される。

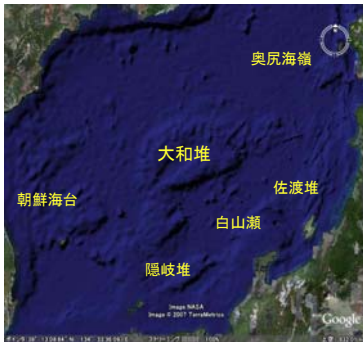
- 日本海盆: 日本海で最大・最深の海盆。水深約3,700m。
- 大和海盆: 本州と大和堆との間にある。
- 対馬海盆: 韓半島の東にある。別名「鬱陵(ウルルン)海盆」。
- ほかに小さな海盆・舟状海盆(トラフ)多数。



## 日本海の海底地形(2:堆・海嶺)

### ■日本海には海底の高まり(海台, 堆, 海嶺)がいくつも存在する。

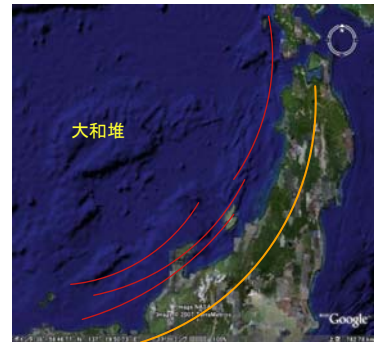
- 大和堆: 日本海のほぼ中央にある最大の高まり。大陸地殻をもつ。
- 隠岐堆(隠岐海嶺)
- 佐渡堆
- 奥尻海嶺
- など



## 日本海の海底地形(3:海嶺の配列)

### ■大和堆をのぞき, これらの海嶺や堆は本州の主軸方向とほぼ平行して配列する。

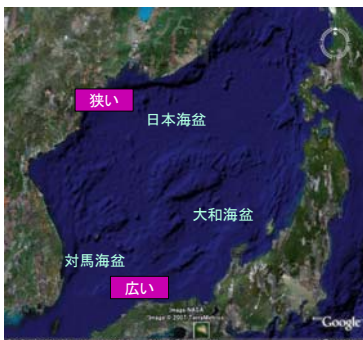
- 第一回目の講義で説明した佐渡と能登半島の連続性はこの一部。
- このような海嶺などの延びは日本海の拡大とその後の縮小にともなって形成された大地のしわである。



## 日本海の海底地形(4:陸棚)

### ■陸棚(大陸棚)は日本海の北西縁(韓国~北朝鮮~ロシア沿海州沿岸)できわめて狭く, 南東縁(日本列島沿岸)で広い。

- 日本列島の大陸からの分離過程でこれが成立した。大陸側は割れただけ, 日本列島側は割れたあとに引きずられた。



来年度にはケーキを使ったモデル実験をやってみせます

## 日本海の海底地形(5:深海長谷)

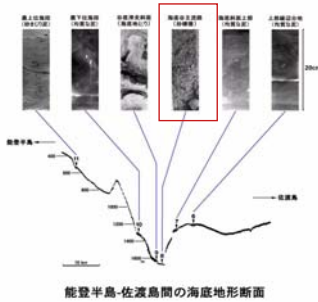
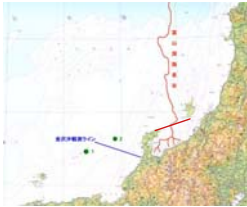
### ■富山湾に端を発する「富山深海長谷」は, 大和海盆を蛇行しながら流下し, 日本海盆で巨大な「富山深海扇状地」を形成する。

- この両者は日本海のみならず, 日本近海最大の海底地形である。



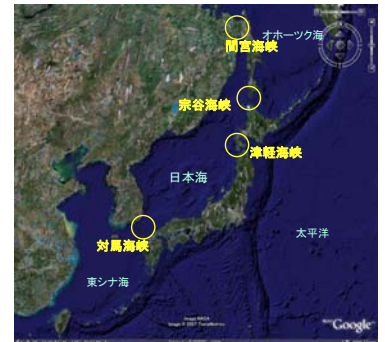
## 日本海の海底地形(6:深海長谷)

- 富山深海長谷には黒部川(=日本アルプス)を起源とする礫が厚く堆積している。



## 日本海の特徴(1:きわめて閉鎖的)

- 海としての閉鎖性の高さがまず特徴としてあげられる。
- 狭くて浅い四つの海峡(間宮海峡, 宗谷海峡, 津軽海峡, 対馬海峡)で外洋と連絡するのみ。
- 日本海に比べてオホーツク海や東シナ海, 南シナ海は外洋へ大きく開かれている。



(画像はすべて同縮尺)

## 日本海の特徴(2:狭くて浅い海峡群)



**対馬海峡**  
幅:約200km  
最大水深:約120m  
備考:黒潮から分かれた対馬暖流はこの海峡を通過して日本海に流入する。



**津軽海峡**  
幅:約19km  
最大水深:約140m  
備考:日本海東縁を流れる対馬暖流はこの海峡を通過して太平洋へ流出する。



**宗谷海峡**  
幅:約42km  
最大水深:約70m  
備考:対馬暖流の一部はこの海峡から太平洋へ流出する。  
国際名:ラ・ペルーズ海峡



**間宮海峡**  
幅:約7km  
最大水深:約20m  
備考:冬季は全域が凍結する。海流の流入は少ない。  
国際名:タートル海峡

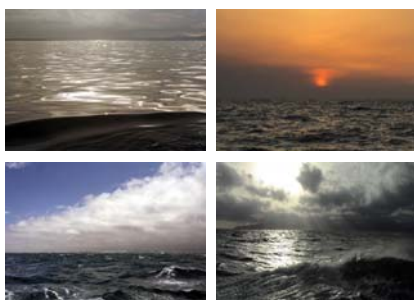
## 日本海の特徴(3a:閉鎖的ゆえに)

- 干満差がきわめて小さい海である。
- 大潮でも0.3~1m
- 太平洋側平均は1~2m
- 有明海は4~6m
- そのため海岸地帯に多数の潟が形成されている
- 潟がなかったら大陸との貿易に支障が生じた・・・かも。



## 日本海の特徴(3b:閉鎖的ゆえに)

- 太平洋や東シナ海などでの時化の影響をきわめて受けにくい。
- 低気圧や台風がなければ鏡のように静かな海だが、ひとつでも低気圧が入ってくると日本海全域が大時化になる。



## 日本海の特徴(3c:閉鎖的ゆえに)

- 日本海と外洋とを連絡する海峡群は地質時代をとおしていずれも浅かった。そのため深海生物は日本海に入り込むことができなかった。
- いまの日本海の深海生物はももとの深海種ではなく、浅海域に生息するものが日本海域に入り込んでから深海域にまで適応拡散したもの。



## 日本海の特徴(3d: 閉鎖的ゆえに)

- 日本海内で重油流出事故や放射線漏れ事故などが発生した場合、その被害は沿岸域では甚大なものとなる。
- 福井県沖のナホトカ号事故: 1997年1月15日
- 韓国沖のタンカー事故: 2007年12月7日
- ロシアの廃棄原子力潜水艦問題: 古い原子炉の海洋投棄
- など



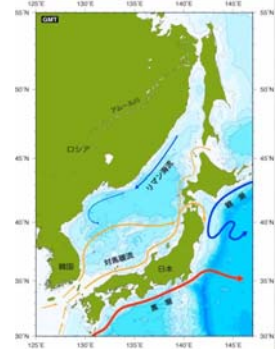
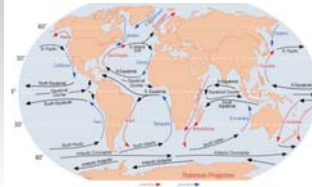
科学技術庁



時事通信

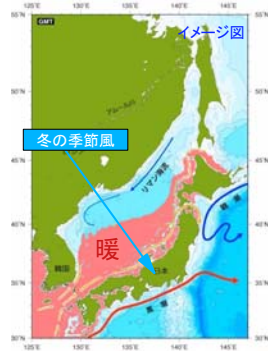
## 日本海の特徴(4: 中緯度に位置する)

- 現在は日本列島の沖合で黒潮(暖流)と親潮(寒流)がぶつかりあう。日本海には黒潮から分かれた対馬暖流が流入する。



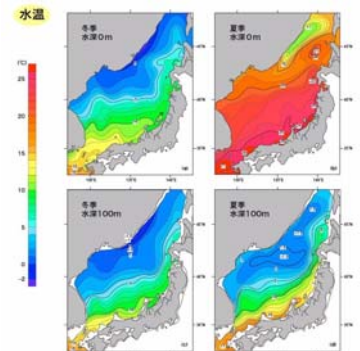
## 日本海の特徴(5a: 現在の日本海)

- 対馬暖流が流入するため現在の日本海(とくに日本側)は暖かい海だといえる。
- 日本海側に冬に大雪が降るのはそのため。



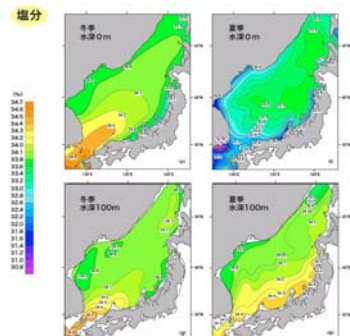
## 日本海の特徴(5b: 現在の日本海)

- 現在の表層水温
  - 夏期にはほぼ全域で15~20℃ととても暖かい。
  - 冬季になると九州~北陸沖では10℃以上だが、それ以外の海域は冷たくなる。
- 水深100mになると冬季も夏期もほぼ同じで変化がない。



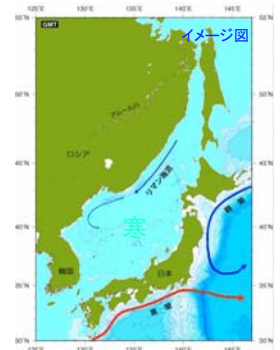
## 日本海の特徴(5c: 現在の日本海)

- 現在の塩分分布
  - 冬季には流入する対馬暖流のため南部で34‰を超え、北へ向かうにつれて減少する傾向にある。
  - 夏期には黄河などからの淡水の影響で南部は33‰以下に低下する。
- 水深100mになると冬季も夏期もほぼ同じで変化がない。



## 日本海の特徴(6: 寒冷期の日本海)

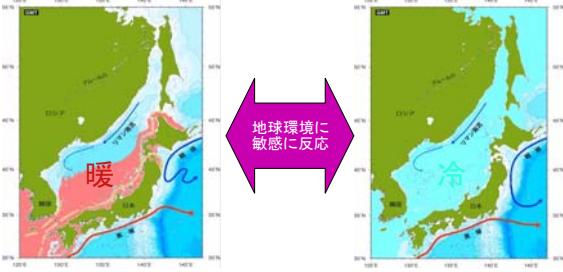
- 地球の寒冷期(氷期: いわゆる氷河時代)には黒潮の勢いが弱まり親潮の勢いが増す(黒潮前線の南下)。
- 海水準の約100mの低下によって間宮・宗谷海峡は閉じてしまい、津軽・対馬海峡もきわめて狭く浅くなる。
- 対馬暖流の日本海への流入がなくなり、日本海は全体が冷たい海になる。





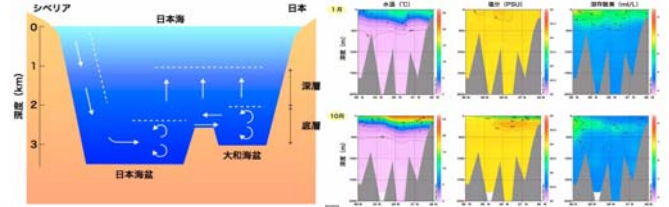
## 日本海の特徴(7:地球環境に敏感)

- 地球が温暖期(間氷期)になると日本海は暖かい海になる。寒冷期(氷期)になると冷たい海になる。



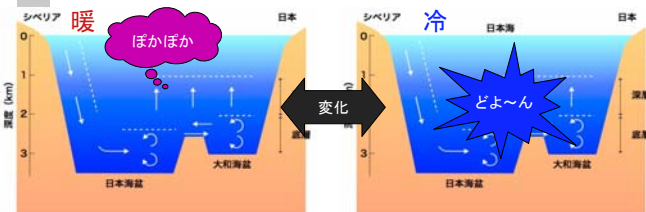
## 日本海の特徴(8:特有の鉛直循環)

- 日本海の深海域には「日本海固有水」という溶存酸素に富んだ均質な水がある。これは北日本海北端部の水が冬季に冷却され沈み込んだものと考えられている。



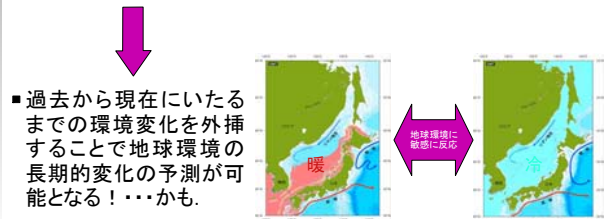
## 日本海の特徴(8:特有の鉛直循環)

- 現在の日本海が暖かい海であるためにこの鉛直循環が発生する。もし日本海が閉じて冷たい海になってしまったら、この循環は発生せず、日本海はよどんだ海になってしまう。



## 日本海の特徴(7:将来予測への適用)

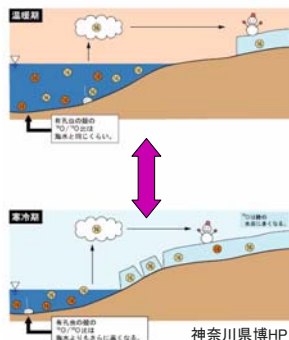
- 日本海の過去から現在にいたるまでの海洋環境の変化を調べてやれば、地球全体の温暖化や寒冷化の歴史を知る大きな手がかりが得られる！



- 過去から現在にいたるまでの環境変化を外挿することで地球環境の長期的変化の予測が可能となる！…かも。

## 汎世界的海水準変動(氷河性変動)

- 海水面の高さが地質時代をとおしてなぜ変わるのか？
- 温暖期: 蒸発した海水が雨になって大陸に降り注ぎ、それが河川となって海に戻っていく。
- 寒冷期: 降り注いだ雨が陸地でそのまま凍結(=氷河の形成)してしまい、海水の量がどんどん減少する。
- 温暖期と寒冷期とがなぜ繰り返すのか…地球が太陽から受け取る熱量が約10万年周期で変化するため。



## 汎世界的海水準変動(周期性)

- 過去35万年間の海水準変動
- 図でわかるように約10万年周期で変化している
- 海水準はゆっくりと低下(約8万年)し、急激(約2万年)に高くなる。
- こまかい上下変動も多数ある。

- 弥生時代(寒)
- 奈良時代(暖)
- 平安時代(寒)
- 江戸初期(暖)
- 江戸後期(寒)
- など

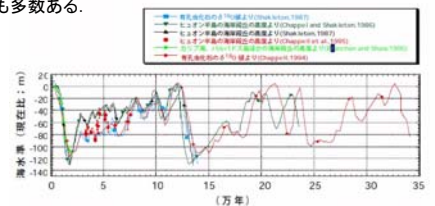
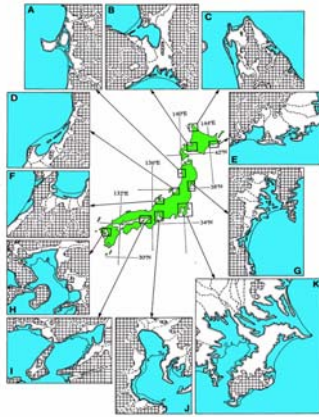


図 2.6-1 35万年前以降の海水準変動

## 日本列島(1)

- 約6千年前(海面がいまより約1m高かったころ=縄文海進)の日本列島
- ▶東京湾・伊勢湾・大阪湾がずっと大きい
- ▶島根半島が島になる
- ▶佐渡島が2つに分かれる
- ▶など



## 日本列島(2)

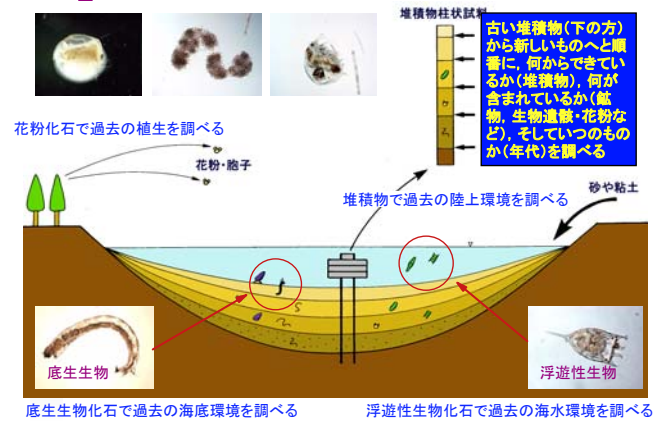
- 約2万年前(海面がいまより約100m低かったころ=最終氷期最大期)の日本列島
- ▶対馬海峡が約20kmほどに狭まる。
- ▶瀬戸内海がなくなり、九州・四国・本州が連絡する。
- ▶津軽海峡は存在するが、北海道はサハリンや北方領土と連絡する。

ゾウは泳いでやってきた!



## どうやって過去を調べるか?

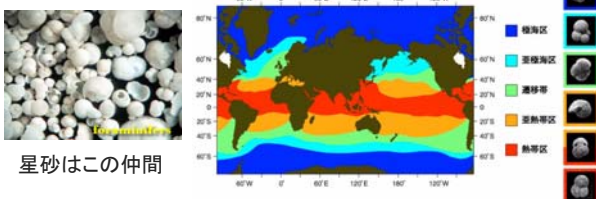
- 平坦で強い流れのない深海底や湖底には過去から現在にいたるまでの堆積物が整然と降りつもっていることが多い。
- このような堆積物を乱さずに採集し、それを古いほうから新しいほうにかけて、含まれている鉱物や生物の遺骸(化石)、堆積物の物理的・化学的性質などを調べる。



## どうやって過去を調べるか?

- たとえば「浮遊性有孔虫」という生物は海域に広く生息し、水温や塩分濃度などの環境条件に応じて異なる種が棲み分けている。この殻は化石として堆積物中に保存される。

浮遊性有孔虫の帯区分



星砂はこの仲間

## どうやって過去を調べるか?

- ここでちょっとばかりビデオでも見ましょう。トンレサップという湖がカンボジアにあります。東南アジア最大の湖です。堆積物の調査からこの湖の約7,500年間の自然環境の変化を解明した例です。



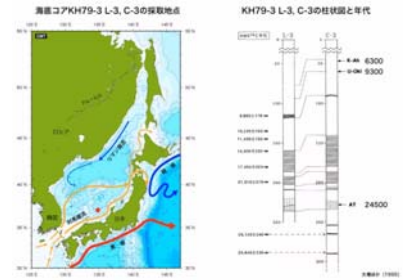
## 実際の海洋調査のようす

- 続けてビデオを見ましょう。2003年6月に実施した日本海での海洋研究船「淡青丸」調査航海の記録です。新潟港を出港し富山港に戻ってくる6泊7日の航海でした。
- ▶ 表層採泥器による海底堆積物の採集
- ▶ 柱状採泥器による柱状堆積物の採集
- ▶ お遊び・・・カップラーメンのカップ圧縮実験
- ▶ 新型海底ロボットR2D4の潜行実験



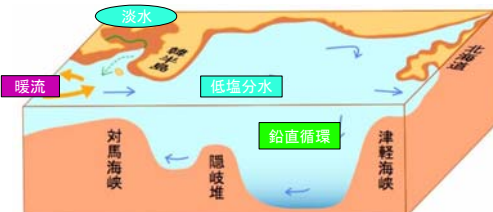
## 日本海の海洋環境変遷史

- この講義のまとめです。これまでに述べてきた方法によって調べられた結果です。



## 日本海の海洋環境変遷史(1)

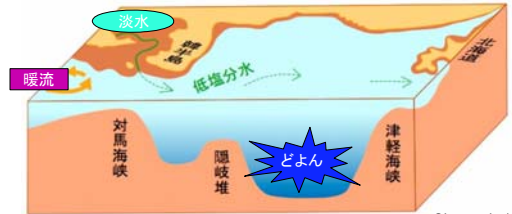
- 約8万5千年前～約2万3千年前
- ▶ 東シナ海から淡水が混じって塩分の低い水が対馬海峡をとって流れこんでいた。海面が徐々に低下するにもなってこの流入が減少する。



Oba et al., 1991に加筆

## 日本海の海洋環境変遷史(2)

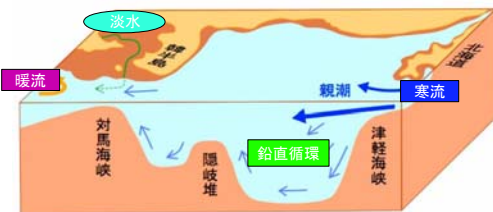
- 約2万3千年前～約1万5千年前(最終氷期最大期前後)
- ▶ 海面が約100m低下したことによって対馬・津軽両海峡が狭く浅くなり、外洋からの海水の流入がほぼ停止した。大陸からは淡水が多量に流入し日本海はよどんでしまった。



Oba et al., 1991に加筆

## 日本海の海洋環境変遷史(3)

- 約1万5千年前～約1万年前(海面上昇期)
- ▶ 海面の上昇にもなってまず津軽海峡をとって寒流(親潮)が流れこむようになった。これによってかつて表層にあった低塩分の水が押し出されて日本海の鉛直循環が復活した。



Oba et al., 1991に加筆

## 日本海の海洋環境変遷史(4)

- 約1万年前～約8千年前(海面上昇期)
- ▶ 海面のさらなる上昇にもなって暖流(対馬暖流)が日本海に徐々に流入するようになった。寒流(親潮)もわずかに流れこんでいたようだ。

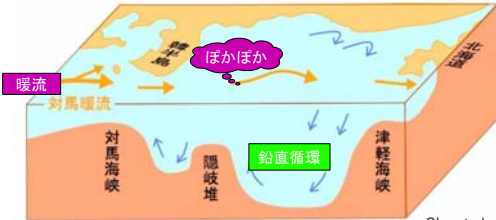


Oba et al., 1991に加筆

## 日本海の海洋環境変遷史(5)



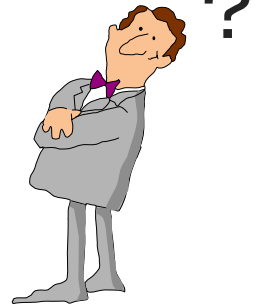
- 約8千年前～現在(海面高位停滞期)
- 暖流(対馬海流)の対馬海峡からの流入が本格的になり、約8千年前に現在の日本海の海洋環境が成立した。北陸地方の大雪はここらに始まったといえる。



Oba et al., 1991に加筆

## 今日の講義はこれでおしまいです

- 何か質問がありますか？



## では今日の練習問題

- 海水面がいまよりも100m上昇したらきみたちの出身県(国)はどんな形になるだろう？これだけの海面上昇は両極地方の氷河がすべて溶けてもありえない値だが考えてみてもらいたい。
  - ▶ 金沢大学の諸君へ：角間中央バス停の標高がちょうど100m。
  - ▶ 福井大学の諸君へ：足羽山(公園)の標高が約120m。
  - ▶ 富山大学の君へ：富山には低い山がほとんどないのでノーヒント！

※海水面が100m上昇したとしても形が変わらない都道府県はひとつしかない。