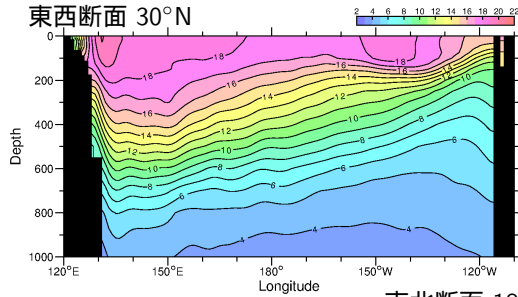


北太平洋の水温断面図

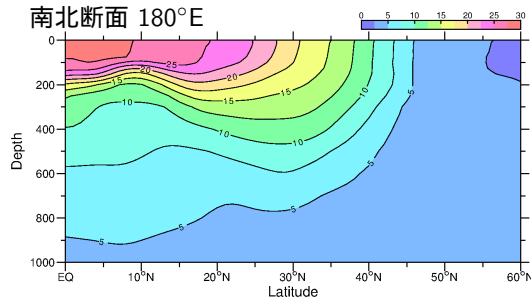
東西断面 30°N



気候学的平均値 (2月)
World Ocean Atlas 2009
海面付近に混合層。
混合層の下は季節変化が小さい

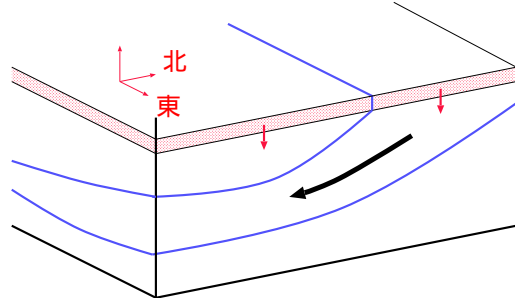
- 亜熱帯は、ある程度、合う
500m ぐらいの深さだと、
 - 30°N の水温が最も高い
 - 同緯度では、西ほど温かいが、西端は冷たい
- 亜寒帯は、層に分かれていない 1層でよい

南北断面 180°E

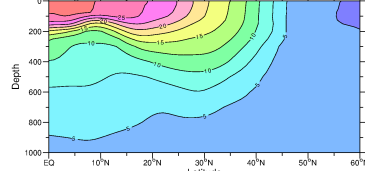


通気水温躍層

亜熱帯循環をさらに層に分ける



水温 (2月)



北太平洋 180°E の南北断面

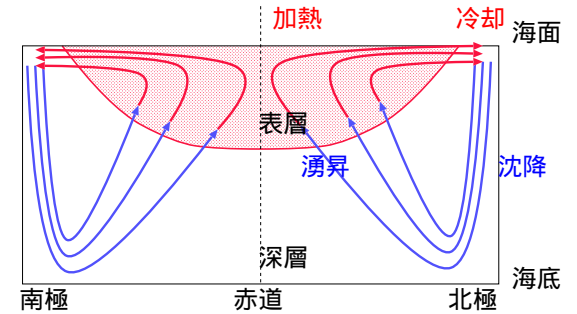
- 海面エクマン層 (混合層) に接している水柱は、渦度の変化を受ける
- 接しない場合、ポテンシャル渦度 (f/h) を保存する
南下する (f 減少) につれ、層の厚さ (h) が減少

亜熱帯循環系 (南向きのスベルドラップ輸送) では、暖かい水の下に北側の冷たい水が積み重なる

深層循環

極で沈降した水は、温められて上層に戻る

- ラグランジュの説明
水粒子は、上層から熱拡散で温められ、軽くなる
- オイラーの説明
水温躍層は、上から拡散する熱で温められ、下からの冷水の湧昇で冷やされる



極域を除けば、深層から表層へ湧昇...深層は「亜寒帯循環」的な運動

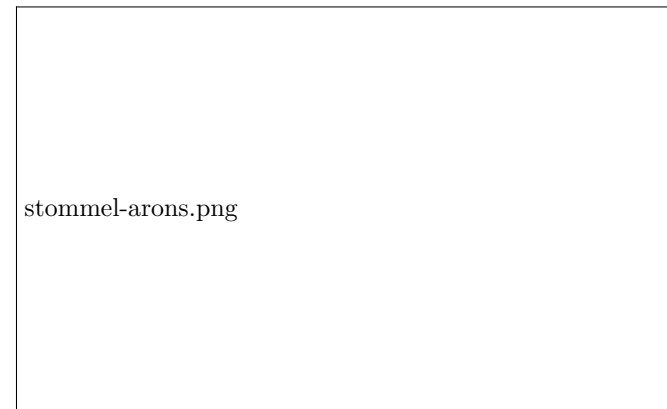
湧昇の流速は $5 \times 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$ 程度 (エクマン湧昇 10^{-6} m s^{-1})

- ┌ 鉛直方向の熱バランスから推定
- └ 極域で沈降する水は約 $20 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ を、海の面積 $3 \times 10^{14} \text{ m}^2$ で割る。

熱塩循環 (深層循環は、熱塩循環の一部)

- ・海面フラックスが水温や塩分の場所による違いを生み、浮力の違いを生む
- ・表層は、強い風成循環 (エクマン湧昇) + 弱い熱塩循環 (深層からの湧昇)

ストンメル (1958) の深層循環の模式図



大胆な仮定
海底...平坦
湧昇...水平一様

- 沈降域は、北大西洋北部と南極ウェッデル海
- それ以外では、湧昇 西岸付近を除けば、流れはすべて極向きスベルドラップ輸送を、鉛直流速から計算できる
- 流量が合う (極向きの輸送 + 湧昇) ように、西岸境界流を考える
大西洋西岸は南下流, 南太平洋西岸は北上流 (沈降域の配置で決まる)
太平洋の赤道を超える流量は、北太平洋で湧昇する流量に等しい。

水流の力

押し寄せる水の力 運動量 = 質量 × 速度

水の密度 (1000 kg m⁻³) は空気 (1.2) の 1000 倍.

1 m s⁻¹ の流速 1000 m s⁻¹ の風速

台風の暴風域: 平均風速 25 m s⁻¹ (時速 90km)

30 m s⁻¹ を超えると, 樹木・家屋倒壊の危険

1 m s⁻¹ ... 時速 3.6km (歩く速さ)

たとえば, 数 cm s⁻¹ であっても, 水は侮れない

離岸流 (海上保安庁 HP から)

災害に結びつく海洋の現象

- 津波 地震
- 高潮 (堤防決壊) 台風等の低気圧

ripcurrent.png

- 離岸流 (海水浴)

強い沖向きの流れができる

巻き込まれたら, 横に泳いで脱出

浅水波と深水波

普通に目にする水面の波は「深水波」

(「浅水」「深水」は, 水深そのものの大小ではなく, 波長に対する比の大小)

水は海底では上下には動けない.

浅水波 ... 海底で水平 水は, 海面から海底まで同じ流速で前後に動く
深水波 ... 海底は静止 水は, 海面付近だけが円を描くように動く

水そのものは, 波長の長さを動くだけ.

海面の高さ変化のみが遠くに伝わる.

→ (波の進む方向)

wave01a.png

wave01c.png

深水波

浅水波

(Kundu, 1990)

津波

海底の陥没や隆起で起きる浅水波 (英語でも tsunami という).

波長の範囲で水深変化が小さいならば,

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = gH \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad \eta(x, t) = A(x \pm \sqrt{gH}t)$$

A は任意の関数 (陥没した形で決まる).

引き波, 押し波のどちらで始まるか, どの波が最も大きいかなどはわからない.

形を変えずに, 速さ \sqrt{gH} で伝わる (実際は 2 次元なので, 放射状)

普通の波は, 波長によって速さが異なる (分散性) ため, 波は次第に弱くなる.
津波は分散しないので, 遠方まで伝わる.

水深 4000m であれば, 波の速さ $\sqrt{gH} = 198 \text{ m s}^{-1} = \text{時速 } 712 \text{ km}$

- 1960 年 チリ地震 ... 22 時間後に津波が日本に到達
- 2004 年 インド洋津波 (スマトラ島沖) ... 2 時間後にスリランカに到達
- 2011 年 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) ... 場所により 10 分 ~ 1 時間

沿岸付近の津波

沿岸に近づくとき, さまざまな要因で, 津波は巨大化する.

- 水深が浅い 波は遅くなる 波長が短くなり, 波高が増す
- 湾の奥が狭くなると, 波が集まる (リアス式の湾)
- 湾内で「共振」が起きる
- その他いろいろ

何はともあれ, 高台に逃げる

とはいえ, どの高台を目指すかが分かれ道かも

高潮

高潮 (たかしお) は、台風などで海面が高くなること

- 吸い込み...気圧が下がって、海面が盛り上がる (静水圧)
 $1\text{dbar}=10^4\text{Pa}=100\text{hPa}$ なので、1cm の水位は 1hPa の気圧に相当。
 950hPa の台風が来ると、50cm ぐらいの水位上昇
- 吹き寄せ...風によって、海面の水が岸に運ばれる
 台風では、エクマン吹送流にならないので、風と水の動きは一致
 湾の開いた方向と、風向きが一致すると、影響が大きくなる

台風の接近が大潮の満潮の時には、特に注意が必要
 夏は海水が熱で膨張して、もともと水位が高い

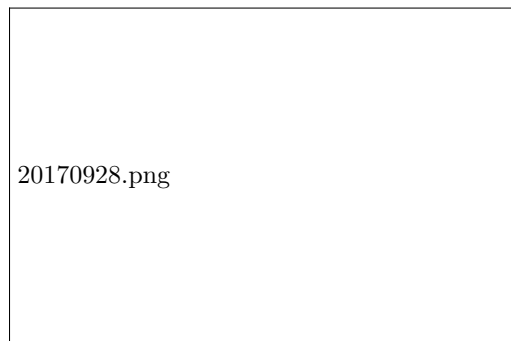
堤防が決壊すると、大きな被害を生む
 (1959年、伊勢湾台風 死者・行方不明 5千人)

低くなる場合もあるはずだが、

- ⎧ 災害に結びつかないので、話題にならない。
- ⎧ 強い高気圧はない (傾度風の仕組み) ので、吸い込みの逆はそれほど起きない。

黒潮大蛇行と高潮

8月下旬に大蛇行が発生 (12年ぶり)



20170928.png

Kawabe1995.png

Kawabe (1995)

非大蛇行 { 接岸流路 交互
 離岸流路 }
 大蛇行流路 ときどき発生

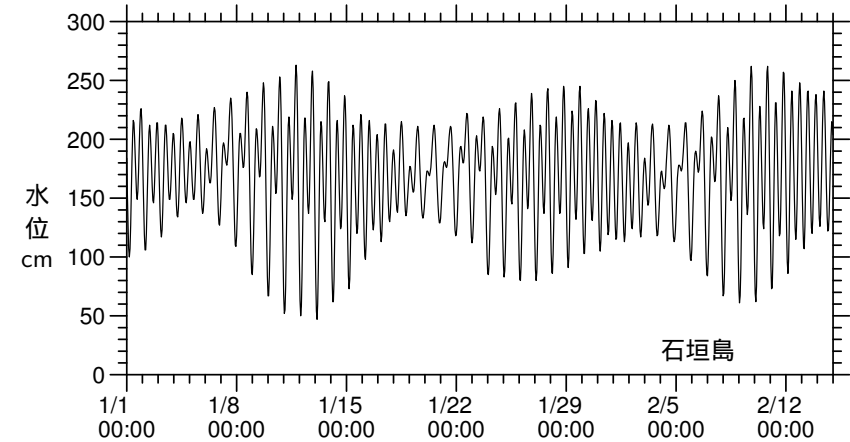
伊豆諸島で出口が決まってい
 ことが原因

三重県から静岡県にかけて沿岸の海面が上昇

- 黒潮は、沖側の海面が高い 離岸すると、沿岸の海面は下がる?
- 黒潮と岸の間に反時計回りの渦 (中央部が低い) が形成される
 渦の縁に相当する沿岸で海面上昇 (黒潮の水が西から入り込む)

潮汐

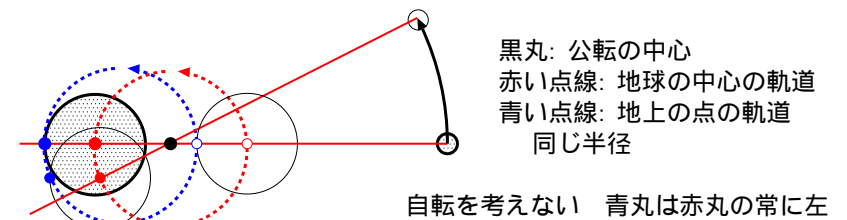
月や太陽が作る水位の変化 起潮力



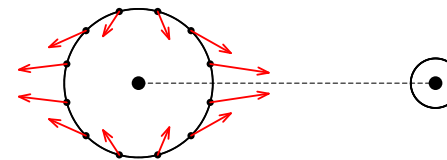
1日2回の海面の昇降 地球の自転 干満差の変化 月の公転
 { 満潮, 高潮 (こうちょう)
 干潮, 低潮. }
 { 大潮 (新月と満月)
 小潮 }

起潮力

引力により海水は月に引き寄せられる 1日1回しか昇降が起きない。
 地球と月は重心を中心に公転している (地球と月の場合、重心は地球内部)



公転だけを考えると、地球の物体は同じ半径で回転 同じ遠心力
 地球全体では、引力と遠心力が等しい 遠心力は地球と月の間の引力



月に近い側は引力が大きく、遠い側は遠心力が大きい この差が起潮力

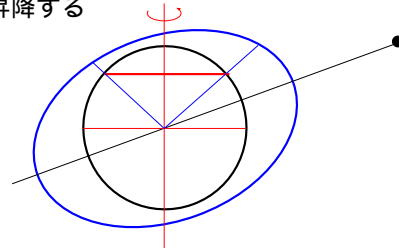
平衡潮汐論

平衡潮汐論...起潮力とバランスして海面が昇降する

(1) 地球が自転することで、潮位が変化する。

月が公転しないならば、

- ・ 月が天頂あるいは天底にある時、満潮
12時間おきに起きる
公転面に近い側の満潮が高い(日潮不等)
- ・ 赤道では満潮は同じ高さ
北極や南極では潮位は日変化しない
- ・ 水面の高い部分が12時間で地球を1周するとも言える(波の仲間)



(2) 月は約29日で公転するため、1日に50分ずつ満潮の時刻がずれる
(3) 太陽についても同様(すべて海ならば、月53cm, 太陽24cmの潮位差)

実際には、平衡潮汐ではない 浅水方程式を解く

- ・ 満潮・干潮には、水の移動を伴うので、時間差ができる。
 - ・ 地形によって、振幅などが大きく異なる。
- 海峡などの狭い場所では、潮汐によってできる流れ(潮流)が強くなる

調和解析

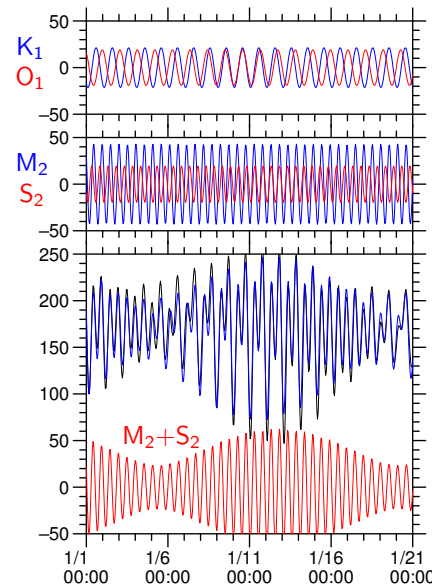
潮位の変化を三角関数の合成として表す
分潮...山が重なると、大潮

- ・ 分潮の周期は、天体の運行で決まる(角速度) 倍潮, 複合潮, ...
- ・ 分潮の振幅・位相は場所ごとに異なる
過去の潮位データから分潮の振幅と位相を計算し、潮位を予報する

主要4分潮

名称	記号	周期
主太陰半日周潮	M_2	12.42 時間
主太陽半日周潮	S_2	12.00
日月合成日周潮	K_1	23.93
主太陰日周潮	O_1	25.82

石垣島の例: M_2 44cm, S_2 19cm
 K_1 20cm, O_1 17cm
最大で 1m の干満 (水位差 2m)



エル・ニーニョ

1995年9月~11月の海面水温

ペルー沖では沿岸湧昇が起きている。

- ・ 南から寒流が流れ込み、下層から栄養分の高い水が供給され、生産性が高いアンチョビーがたくさん漁れる
- ・ 毎年、12月ごろになると、風が弱まるため、水温は高くなる。
アンチョビーは沖に離れ、休漁期(陸は、バナナやココナツの収穫期)クリスマスにちなみ「エル・ニーニョ」(スペイン語で The Boy キリスト)
- ・ 4月になると、水温は低下アンチョビーが戻る。
- ・ 数年に一度、水温が大きく上昇し、春になっても水温が下がらない年がある
大不漁や豪雨などを引き起こす。
太平洋赤道域全体で水温が変化。

95-3t.png

1995年12月~1996年2月の海面水温

95-4t.png

1997年12月~1998年2月の海面水温

97-4t.png

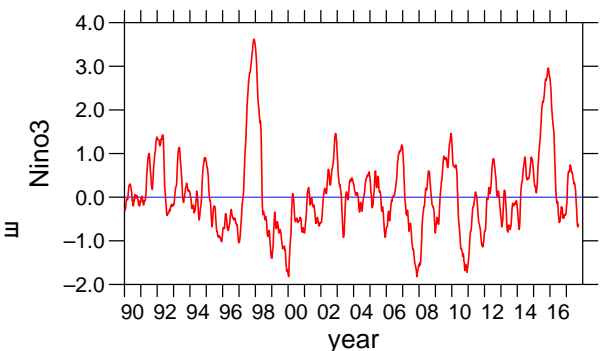
エル・ニーニョ現象

- ・ 本来、「エル・ニーニョ」は毎年起きる良い出来事だったが、数年に一度の悪い出来事を指す言葉として広まった。
「エル・ニーニョ・イベント」「エル・ニーニョ現象」と区別する
- ・ 数年に一度、水温が低いときもあり、これを「ラ・ニーニャ」という。
- ・ 「ウォーム・イベント」と「コールド・イベント」とも言う

東部赤道域での海面水温を調べることで、エル・ニーニョを判定する。

NINO3 と呼ばれる監視海域での平年水温からのずれ

- { 暖かいと、エル・ニーニョ
- { 冷たいと、ラ・ニーニャ



太平洋の東西での気圧差 (= 風の強さ) とも関係している(南方振動)
二つ合わせて、ENSO (エンソ, El Niño and Southern Oscillation)

ENSO のメカニズム

通常の状態

- 西側に暖水の厚い層がある (貿易風)
赤道の海面熱フラックス
- 大気は西側で温められ上昇, 東側で下降
西側は雨が多く, 東側は乾燥
赤道上の風は西向き
- 風により, ますます暖水が蓄えられる

エル・ニーニョ現象の発生

- 何かのきっかけで, 暖水が東に動く
(貿易風が弱まる)
- 上昇気流が東に動く 風が弱まる
- ますます暖水が東に動く.
- 太平洋全域に暖水が広がり, ペルーなどの乾燥域に豪雨が降る.

pacific.pdf

気象庁ホームページの図に赤線を追加

逆に, 暖水がより西に動けば, ラ・ニーニャ現象

ENSO は, 赤道だけでなく, 世界広く影響する (テレコネクション).