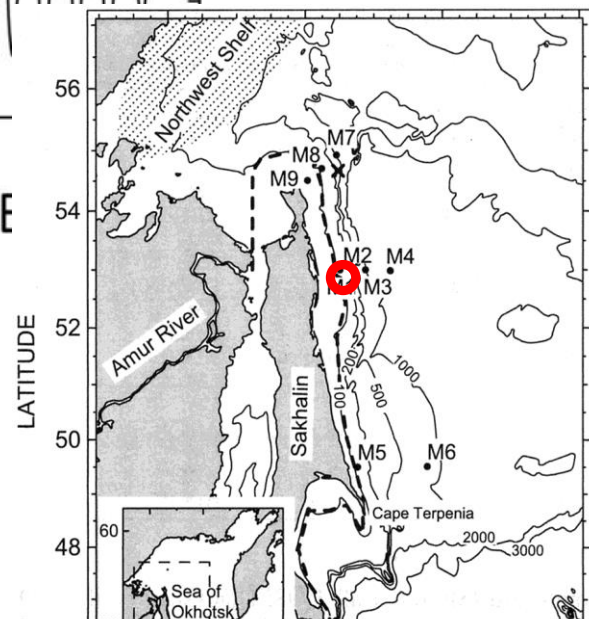
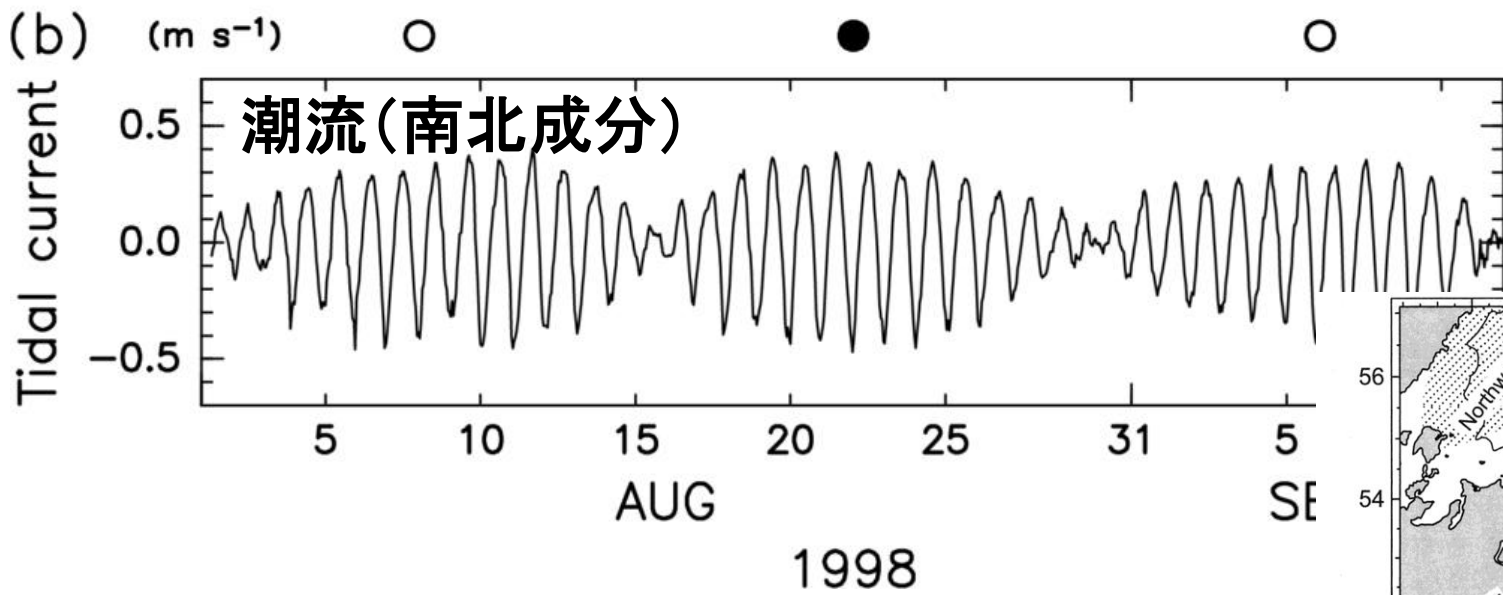
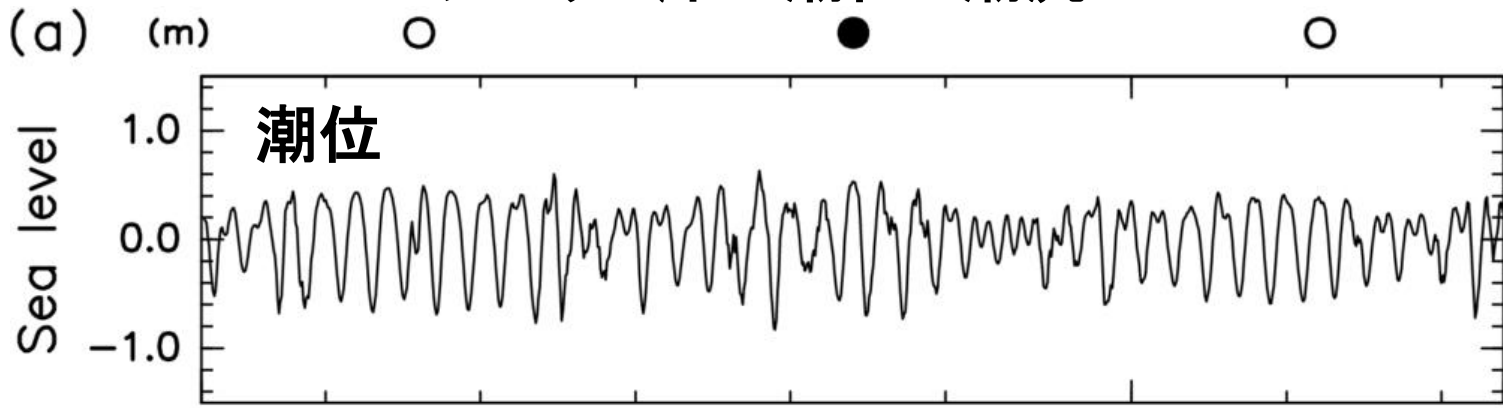


第5回：基礎論（海洋編）

- ・海洋の潮汐・潮流
- ・海水の混合

サハリン沖の潮位と潮流



地球の中心では

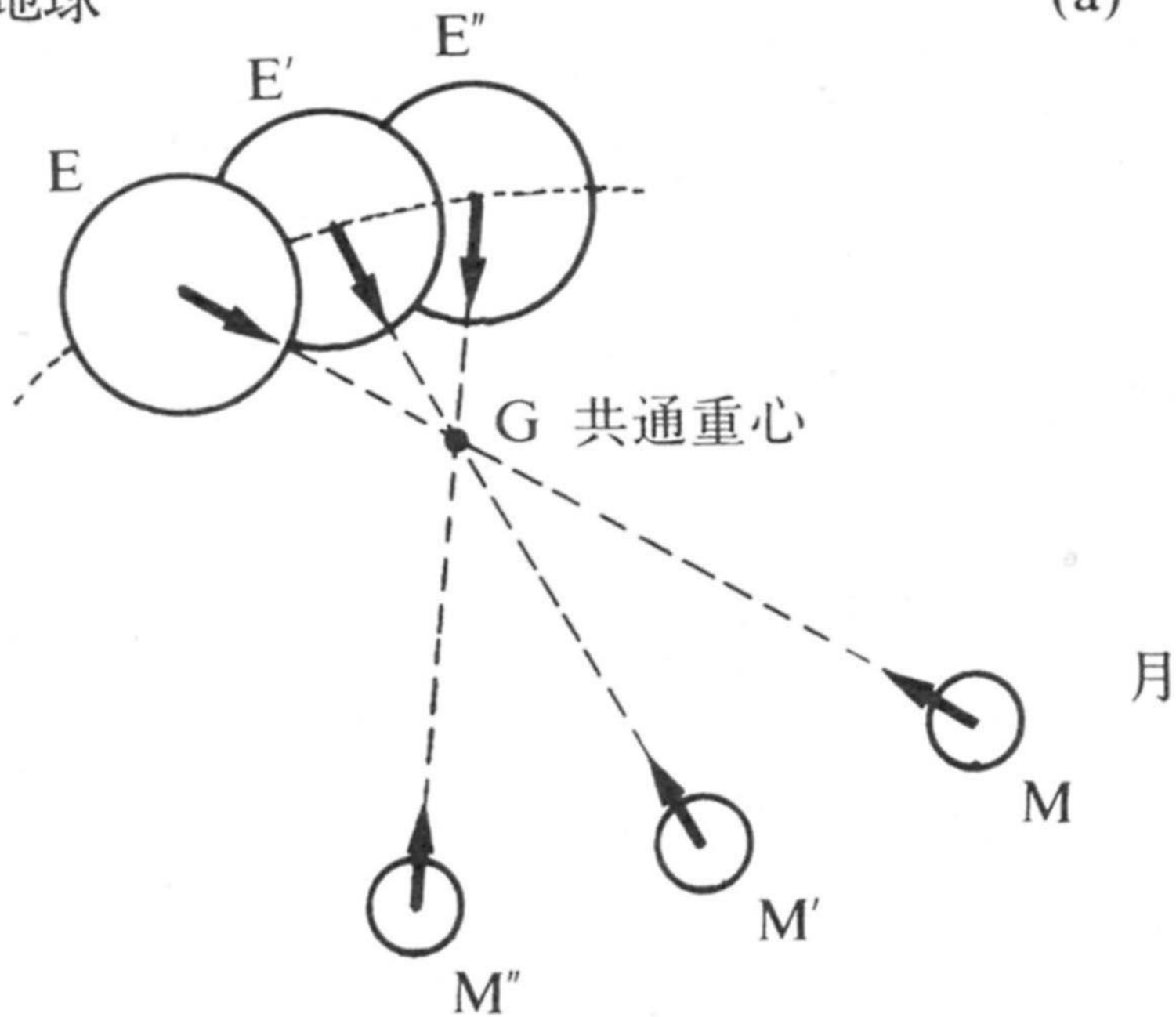
C (月と地球の共通重心を回ることによる遠心力)
 $= f_0$ (月による引力)

起潮力 (tide – generating force) F
 $= \underline{f}$ (引力) $- \underline{Cf}$ (遠心力) \longrightarrow どこでも一定

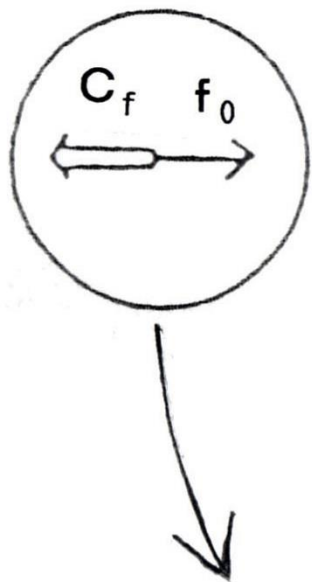
\longrightarrow 月からの距離の2乗に反比例

地球

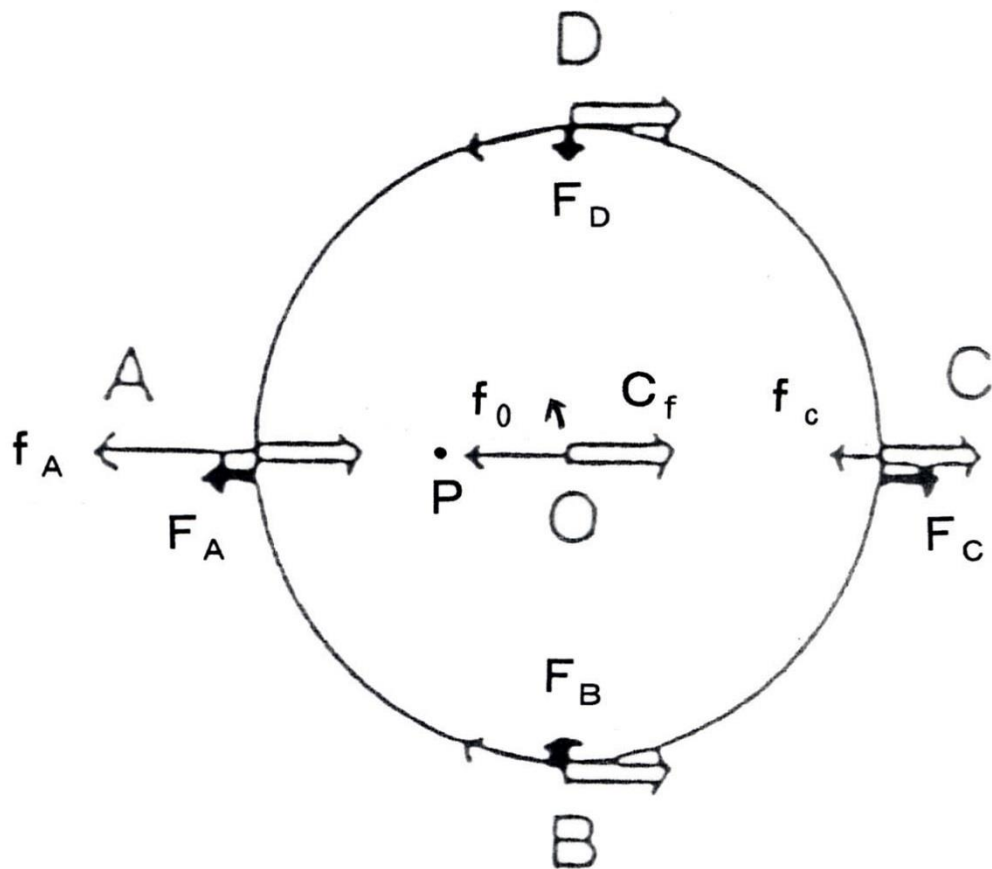
(a)



月



地球



引力 (f_A, f_0, f_c), 遠心力 (C_f),
起潮力 (F_A, F_B, F_C, F_D)

単位質量で考える: M:月の質量

地球の中心では

$$Cf = f_0 = GM/R^2 \text{ ---- } \textcircled{1}$$

G: 万有引力定数, R:月との距離

Aでの引力 f_A は

$$f_A = GM / (R - e)^2$$

e: 地球の半径

$$F_A = f_A - Cf = G \{M/(R - e)^2 - M/R^2\} = G \{M / \{R^2 (1 - e/R)^2\} - M/R^2\}$$

$$= GM/R^2 \{1/(1 - e/R)^2 - 1\}$$

$$= GM / R^2 \{ 1 / (1 - 2e/R + e^2/R^2) - 1 \}$$

$$= GM/R^2 (1 + 2e/R - 1)$$

$$= 2GMe / R^3 \rightarrow = 2g (e/R)^3 (M/E) \text{ ---- } \textcircled{2}$$

$$e/R \ll 1$$

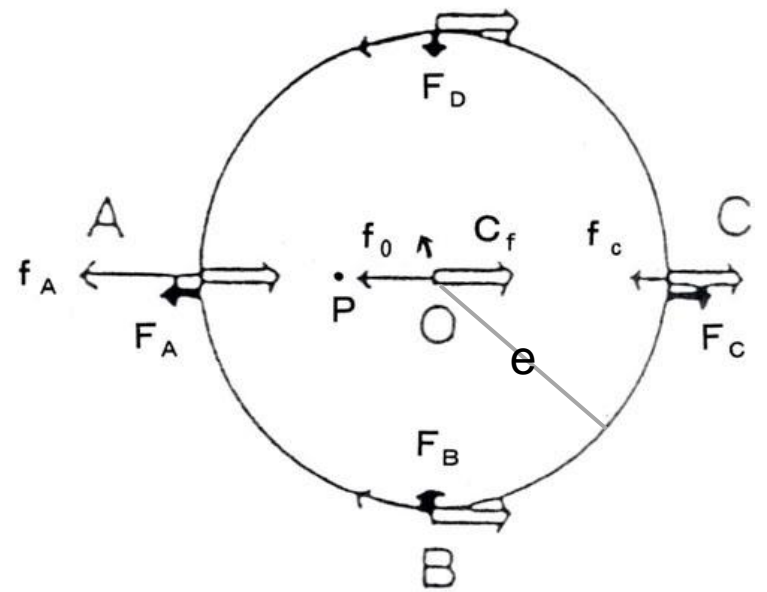
$1 / (1 - \theta) \rightarrow 1 + \theta$: テーラー展開

$$F_A = 1.12 \times 10^{-7} \times g$$

重力の1千万分の1

$$\textcircled{1} \text{ で } R=e, M \rightarrow E \quad mg = GE m / e^2 \quad G = ge^2 / E$$

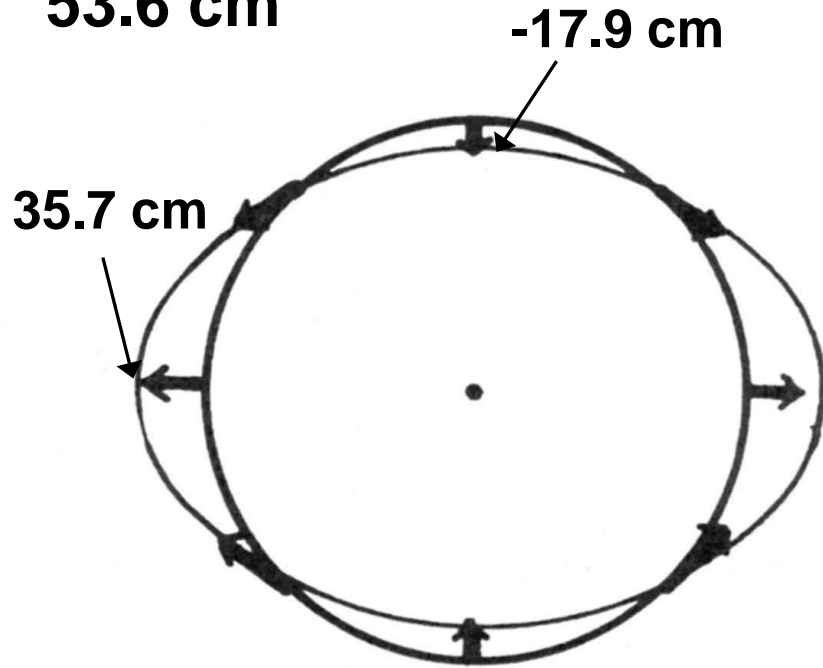
E: 地球の質量



太陽と地球の関係からも②成立
R→極めて大; M→極めて大
月の場合の0.46倍

太陽による干満差
26.7 cm

月による干満差
53.6 cm

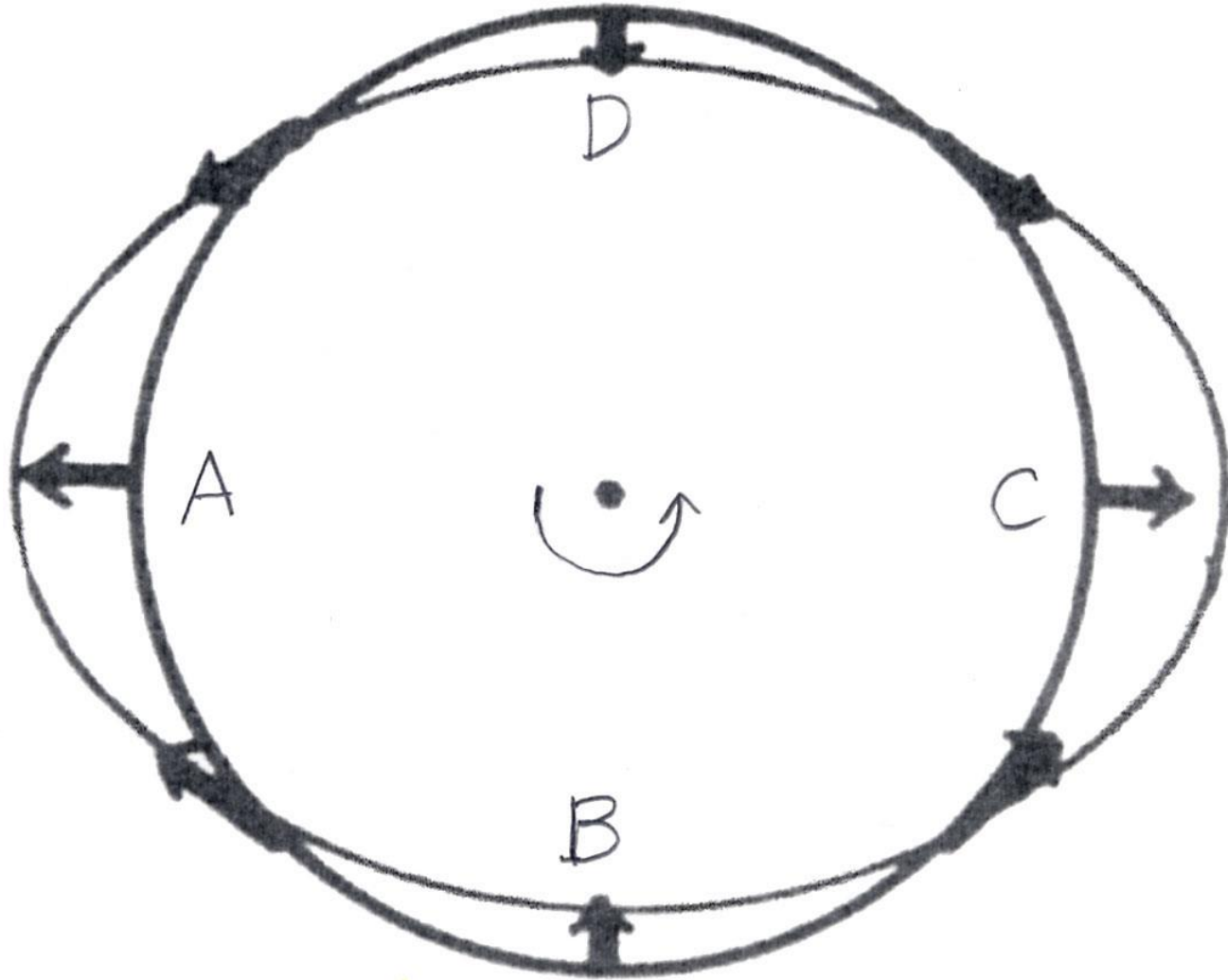


平衡海面
(equilibrium sea surface)

図 3.2 起潮力の分布は点対称となり，変形を受けた等重力面は回転楕円形となる。

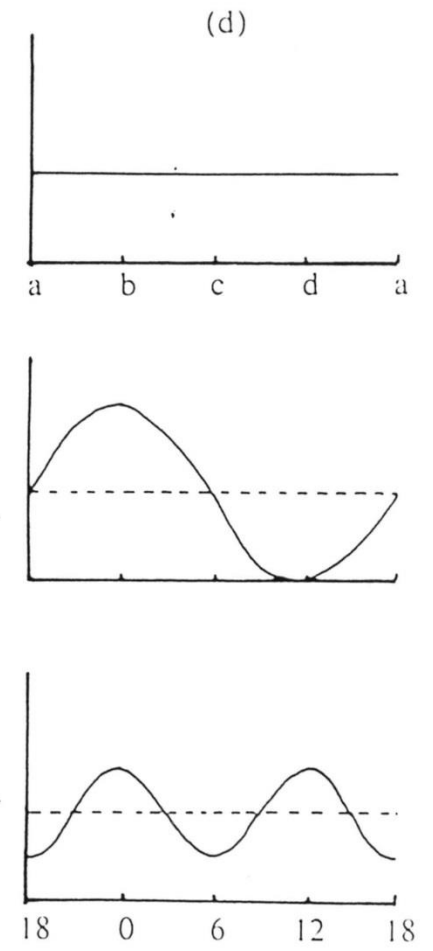
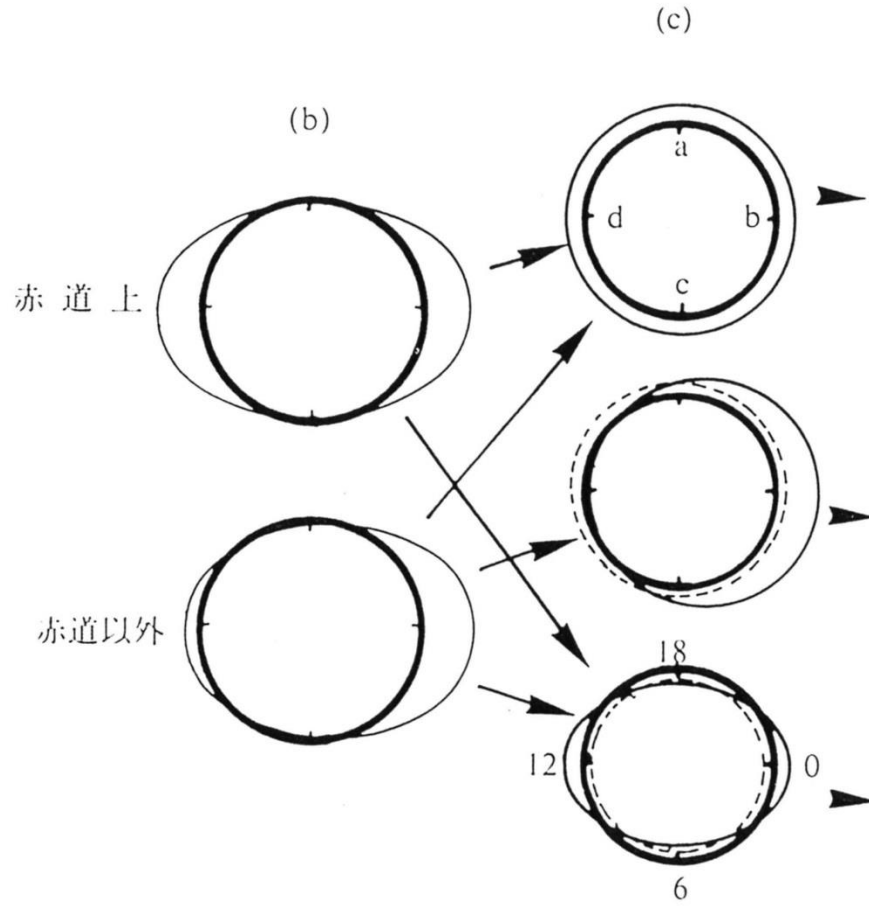
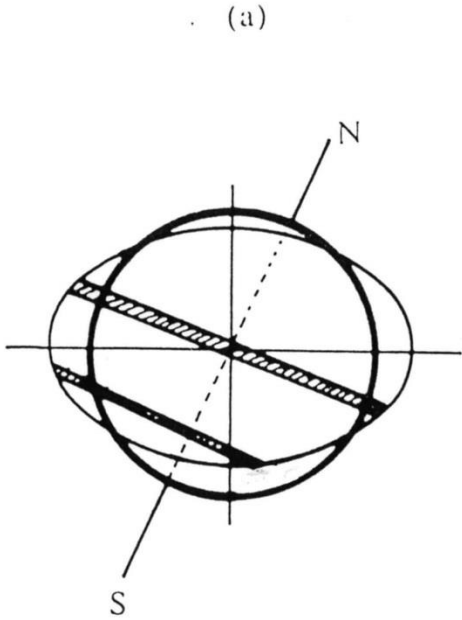
$$\eta = 3/2 \cdot (M/E) \cdot (e/R)^3 \cdot e \cdot \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right) \quad (3.7)$$

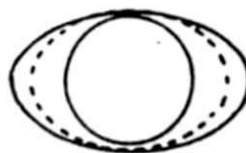
地球が自転していることも重要



一日2回、膨らみと凹みが訪れる

半日周潮だけでなく日周潮が生じるわけ

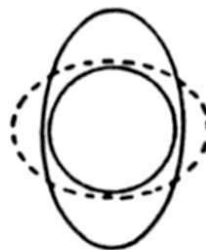




実線：月による平衡海面

点線：太陽による平衡海面

大潮



小潮



表 6 - 1 主要分潮と松山港の調和定数

主要4分潮: K1, O1, M2, S2

種 類	記 号	名 称	周 期	松山港での振幅
倍 潮	M ₄	太 陰 1 / 4 日 周 潮	6.21 (時)	0.4 (cm)
	S ₄	太 陽 1 / 4 日 周 潮	6.00	0.1
半 日 周 潮	M ₂	主 太 陰 半 日 周 潮	12.42	99.3
	S ₂	主 太 陽 半 日 周 潮	12.00	40.8
	N ₂	主 太 陰 楕 円 潮	12.66	18.0
	K ₂	日 月 合 成 半 日 周 潮	11.97	12.0
日 周 潮	K ₁	日 月 合 成 日 周 潮	23.93	31.0
	O ₁	主 太 陰 日 周 潮	25.82	22.7
	P ₁	主 太 陽 日 周 潮	24.07	9.4
	Q ₁	主 太 陰 楕 円 潮	26.87	4.4
長 周 期 潮	M _f	太 陰 半 日 周 潮	327.86	1.4
	M _m	太 陰 日 周 潮	661.30	1.5
	S _{sa}	太 陽 半 年 周 潮	4382.76	1.5
	S _a	太 陽 年 周 潮	8765.52	16.8

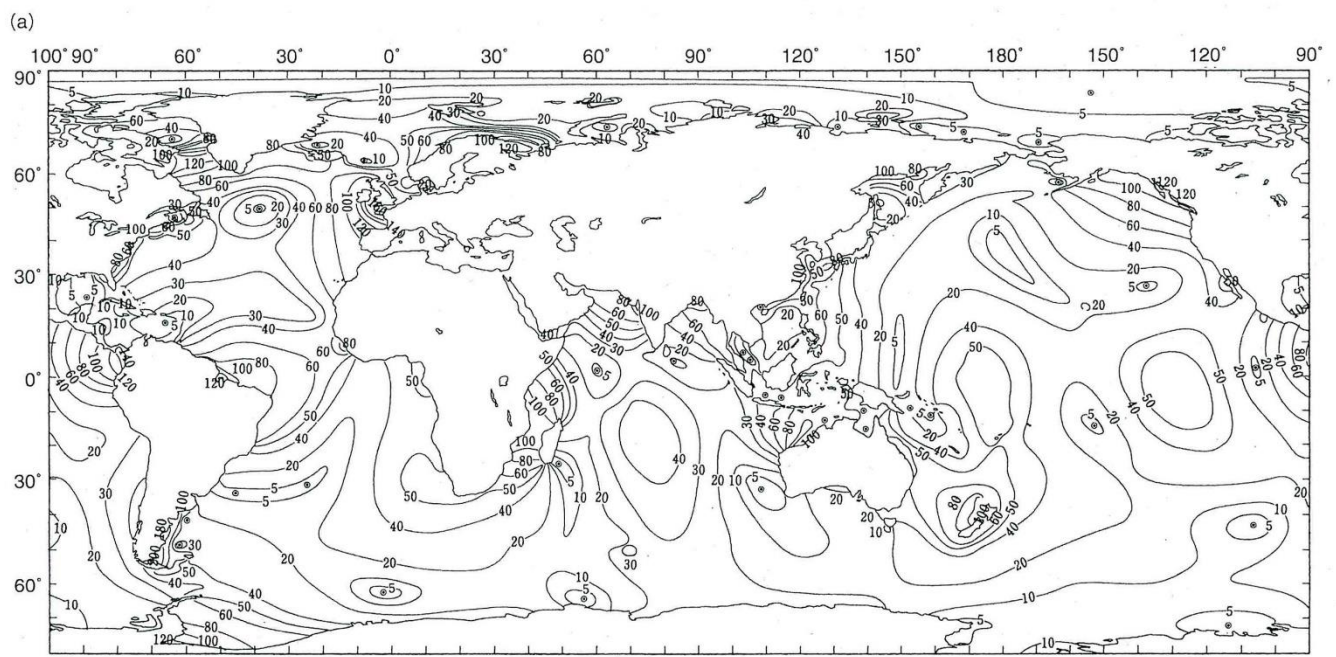
「潮汐・潮流の話」
柳哲雄より

平衡潮汐論 (Equilibrium tide theory)

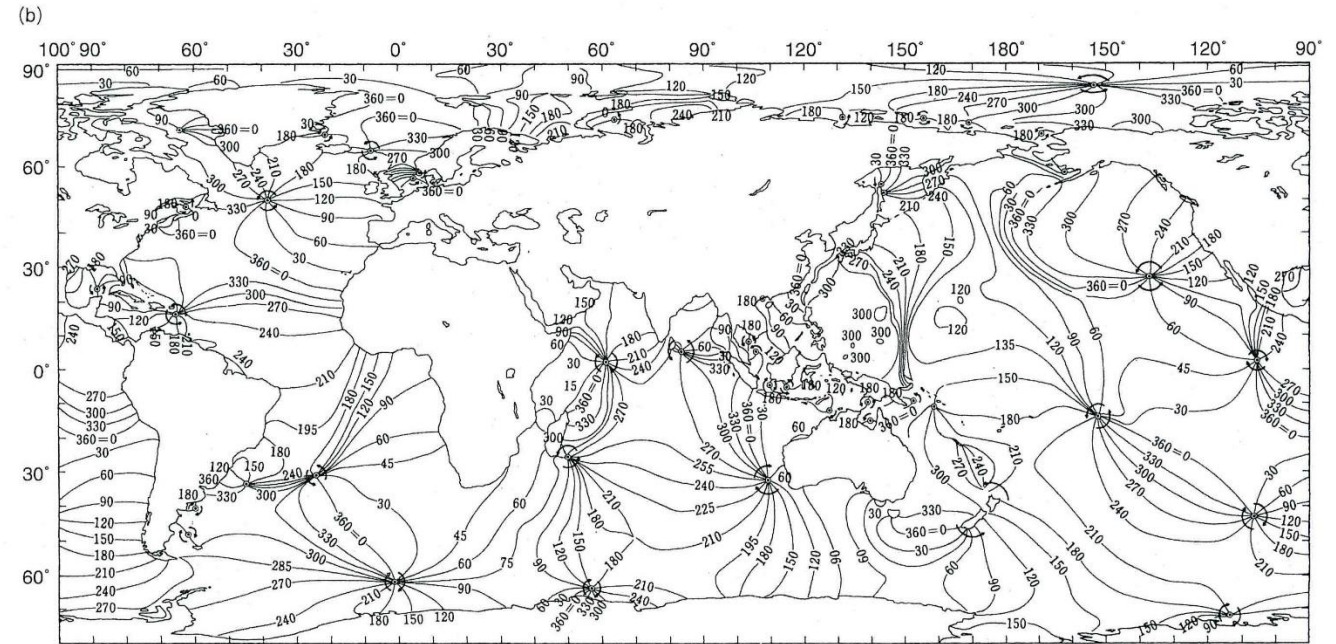
- ・起潮力に対して即時に応答する(adjust)という仮定
- ・現実には、重力波・ケルビン波によって水位偏差が伝搬する必要がある
波の速度 \sqrt{gH} : 水深4000mで200m/s, 1日で17000km :地球円周40000km
- ・平衡潮汐論では、波の速度が無限大、即座に応答するという仮定
- ・動的潮汐論：現実の陸岸・海底地形と波を考慮した潮汐論
(浅水波方程式により記述できる)

半日周潮 (M_2)

等潮差図 →
(振幅分布)



等潮時図 →
(位相分布)

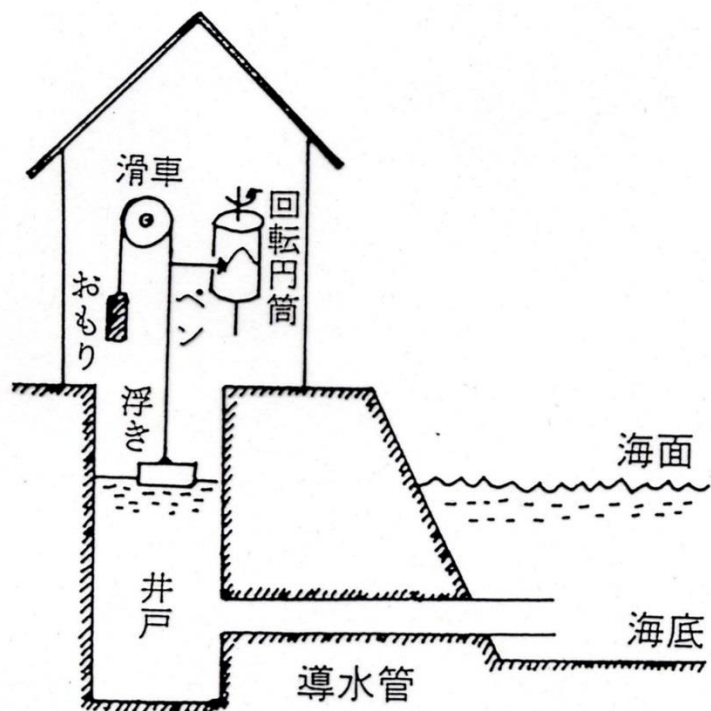


「海洋の物理学」
花輪公雄著より

図 11.6 世界の海洋における主太陰半日周潮 (M_2) の等潮差図 (a), 単位は cm) と等潮時図 (b), 単位は $^{\circ}$) を示した潮汐図

(b) は月が経度 0° を経過してから満潮になるまでの時間の遅れを角度で表したもの。(Schwiderski, 1979)

潮位を測る方法



「潮汐・潮流の話」
柳哲雄より

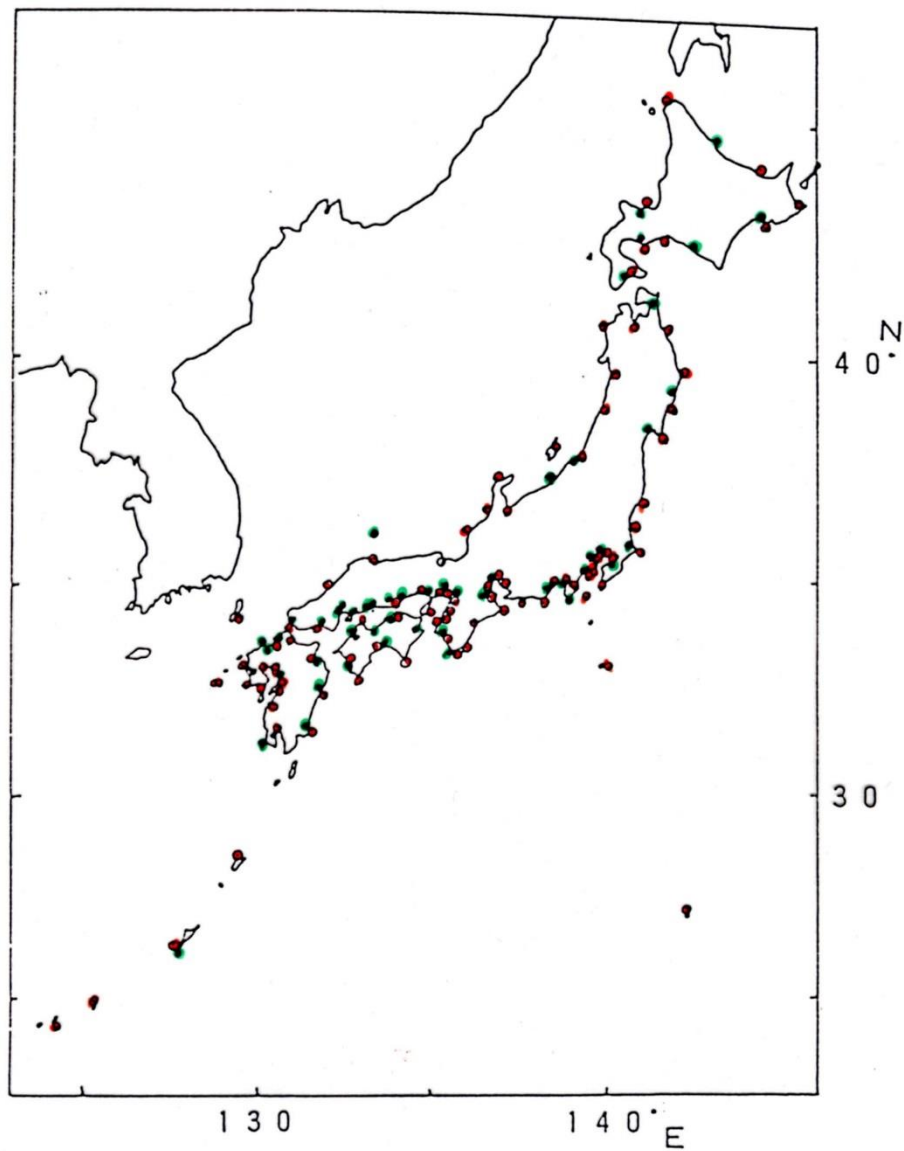


図 6 - 8 海上保安庁 (●印) と気象庁 (●印) の潮位予報地点

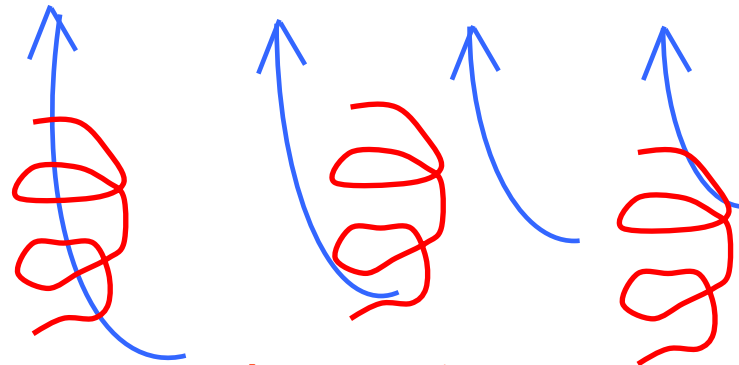
海洋の地球規模鉛直循環

赤道

極

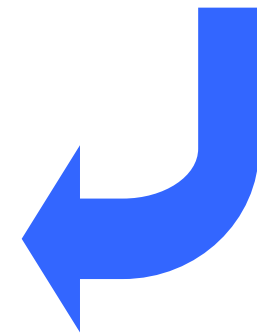
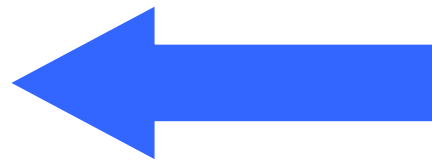


海洋の場合



潮汐混合

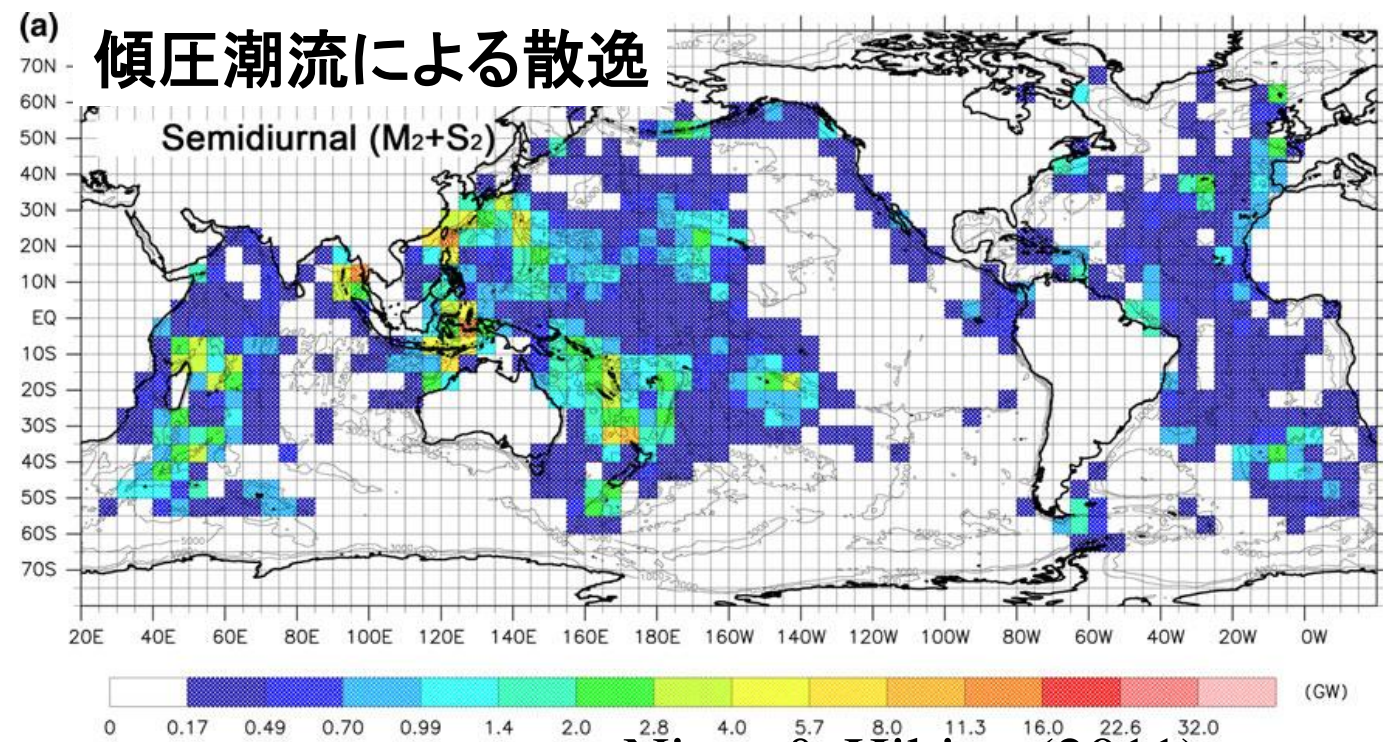
高密度水の沈み込み



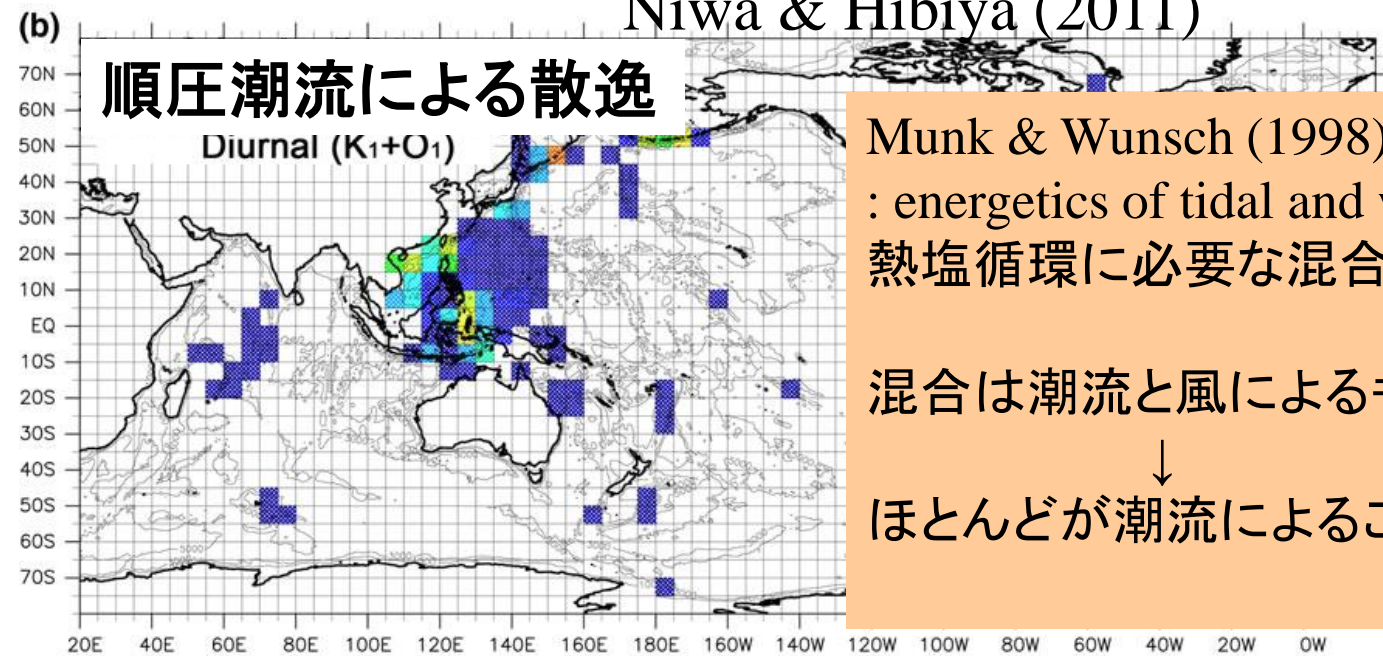
鉛直拡散により下方が暖まる(軽くなる)

→ 浮力を得る → 上昇

鉛直拡散係数が循環の速さを決める



Niwa & Hibiya (2011)



Munk & Wunsch (1998); Abyssal recipes
: energetics of tidal and wind mixing.

熱塩循環に必要な混合エネルギー2100 GW

混合は潮流と風によるものが半々(1990年代)



ほとんどが潮流によることがわかってきた

海水の拡散・混合

- 拡散・混合が分子レベルで起こる→分子拡散係数(molecular diffusivity)
- 熱・塩分の拡散が乱流・渦で起こる→乱流拡散係数(turbulent diffusivity)

- 大規模なスケールでの拡散・混合
 - ┌・順圧不安定(barotropic instability)
 - └・傾圧不安定(baroclinic instability)

- 小さなスケールでの拡散・混合
 - ┌・ケルビン・ヘルムホルツ不安定による渦・砕波(Kelvin-Helmholtz ins.)
 - └・二重拡散対流(double diffusive convection)
 - 海水密度は水温と塩分で決まる
 - 水温の拡散係数>>塩分の拡散係数
 - ┌・ソルトフィンガー(上層に高温・高塩、下層に低温・低塩)
 - └・拡散型対流(上層に低温・低塩、下層に高温・高塩)

ケルビン・ヘルムホルツ不安定による 波・砕波・乱流混合

ケルビン・ヘルムホルツ(K-H)不安定
を考察する際のモデル
(Kelvin-Helmholtz instability)

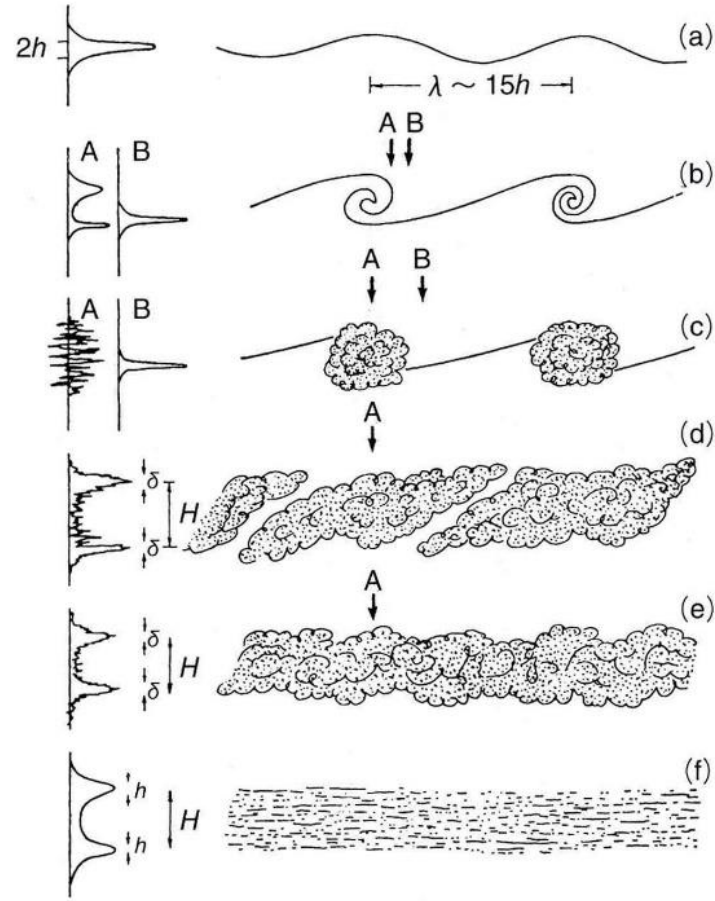
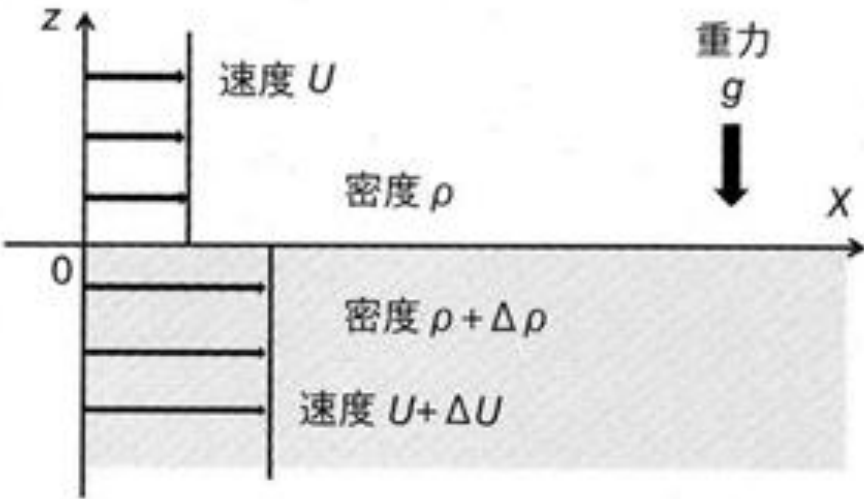


図 9.7 ケルビン・ヘルムホルツ不安定による波の発生から砕波に至る過程の模式図
左側に示した図は、右側の図の A と B の位置における密度の鉛直勾配を示す。h は密度が変化する層の厚さを、δ は混合した層の上面と下面において密度が変化する層の厚さをそれぞれ示す。不安定が起こり波が次第に大きくなり (a)、ついには巻き波となり (b)、砕波を起こす (c)。乱流混合が次第に広がり (d,e)、上層と下層の中間の密度をもつ厚さ H の新しい層ができる (f)。(Woods and Willey, 1972).

「海洋の物理学」
花輪公雄著より

ソルトフィンガー
 (上層に高温・高塩、
 下層に低温・低塩)

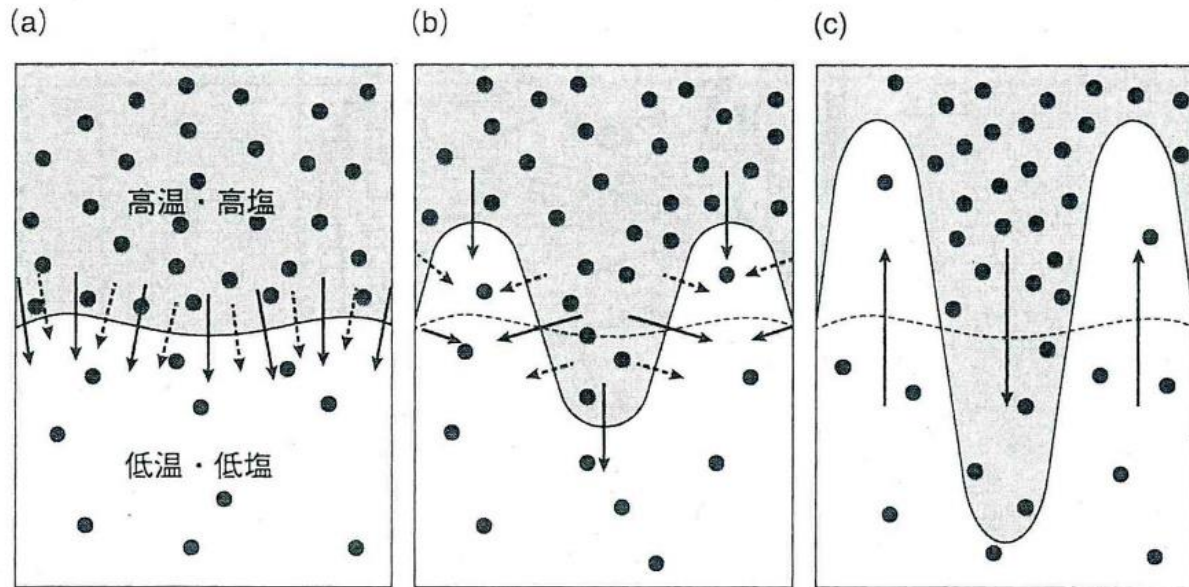


図 5.13 上層に高温・高塩の水、下層に低温・低塩の水が接したときに起こるソルトフィンガーの発達過程の模式図

拡散型対流
 (上層に低温・低塩、
 下層に高温・高塩)

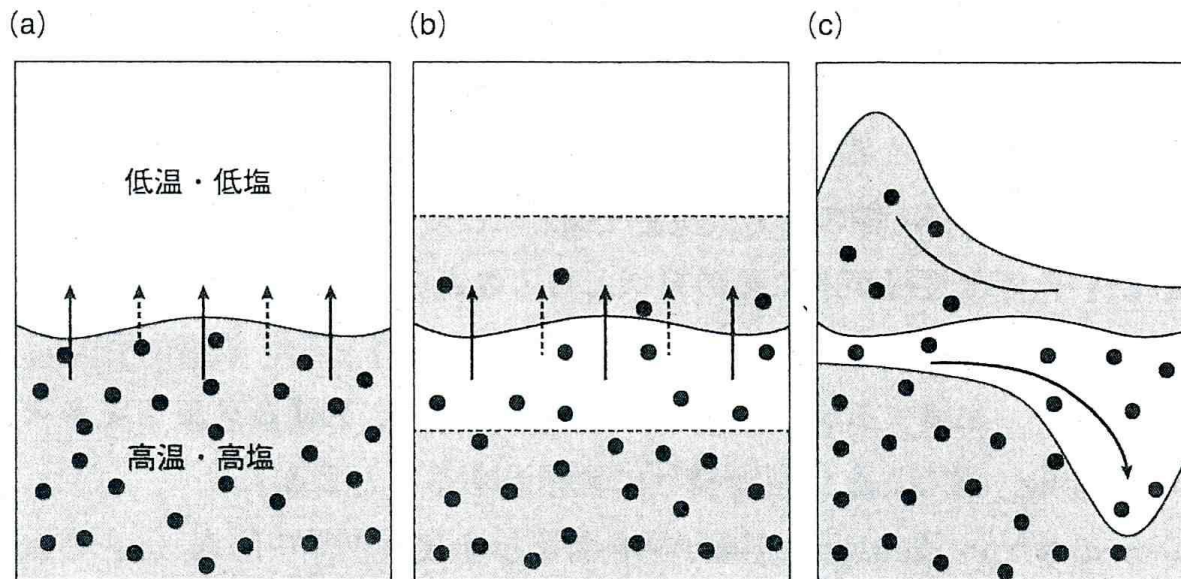


図 5.14 上層に低温・低塩の水、下層に高温・高塩の水が接したときに起こる拡散型対流の発達過程の模式図

「海洋の物理学」
 花輪公雄著より