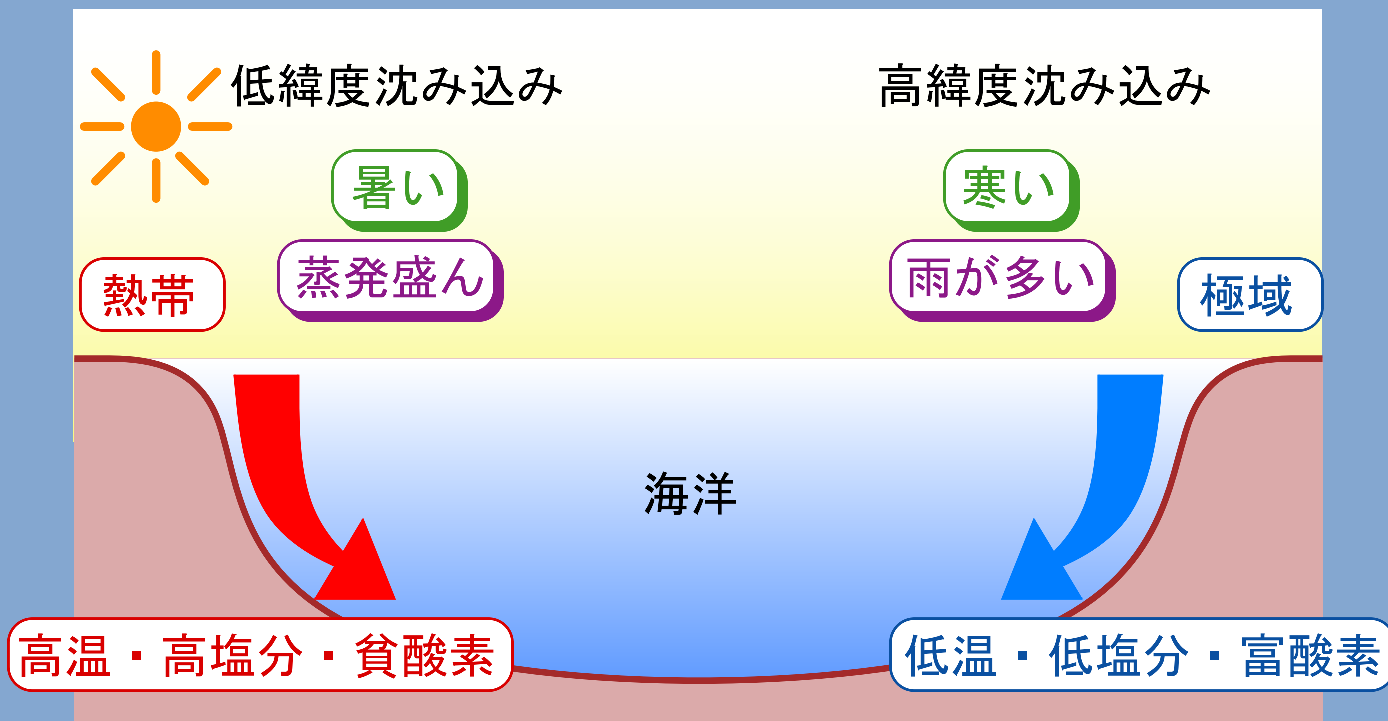
Y. Yamanaka

深層循環の2つの様式

水温　高温なら熱のやり取りを通してすぐ冷却する
　　　アノマリーは、約30日程度で消える

塩分　高塩分でも蒸発が減少したり降水が増加したりすることはない
　　　アノマリーは、約200日程度は残る

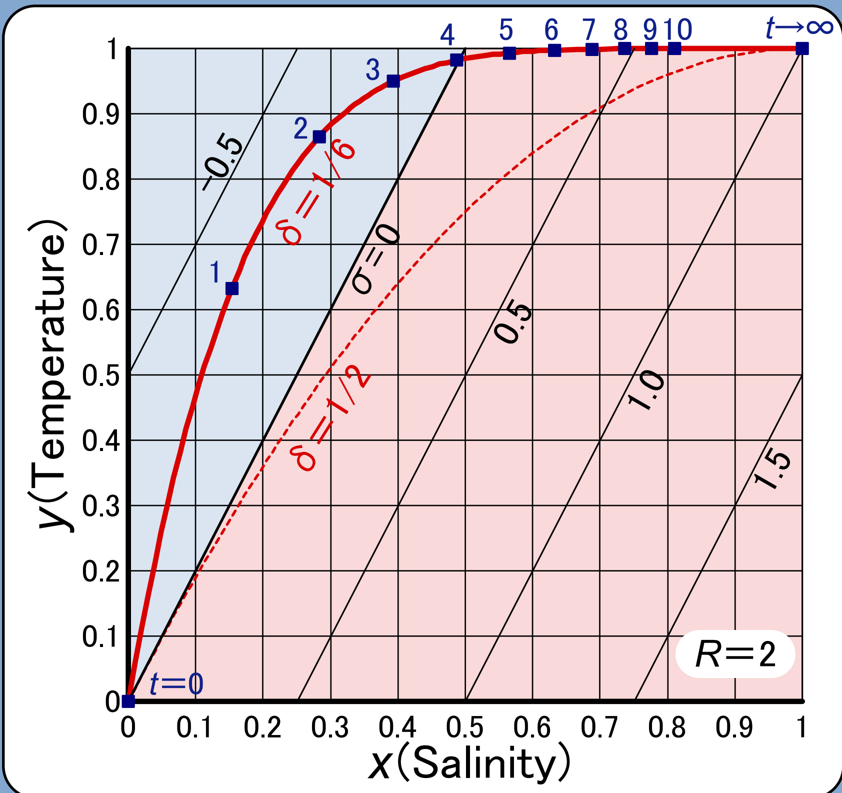
→ 多重解が存在する可能性がある



Y. Yamanaka

熱塩循環の多重解(その1)

Stommel[1961] *Tellus*, 8, 224–229



$$\frac{\partial T}{\partial t^*}=c(T^*-T) \quad \frac{\partial S}{\partial t^*}=d(S^*-S) \tag{1}$$

$$t=ct^* \quad \delta=\frac{d}{c} \quad x=\frac{S}{S^*} \quad y=\frac{T}{T^*} \tag{2}$$

とおくと、通常 $\delta \ll 1$ であり、(1)式は無次元化出来る

$$\frac{\partial y}{\partial t}=1-y \quad \frac{\partial x}{\partial t}=\delta(1-x) \tag{3}$$

初期状態を $x=y=0$($t=0$ のとき)とすると

$$y=1-e^{-t} \quad x=1-e^{-\delta t} \tag{4}$$

となり定常状態($t\to\infty$ のとき)では $x=y=1$ となる

密度方程式を $\rho=\rho_0(1-\alpha T+\beta S)$ とすると

$$\frac{\rho}{\rho_0}=1+\alpha T^*(-y+Rx) \quad R=\frac{\alpha T^*}{\beta S^*} \tag{5}$$

初期状態からの密度アノマリを σ とすると

$$\sigma=\frac{\frac{\rho}{\rho_0}-1}{\alpha T^*}=-y+Rx \tag{6}$$

初期状態より定常状態が重たい条件は

$R>1$

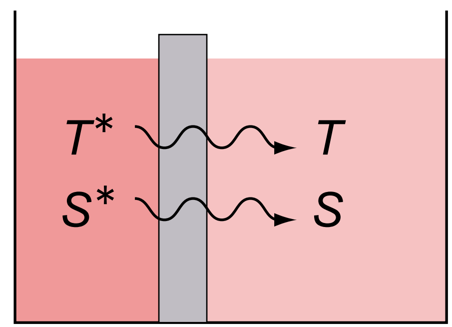
さらに $R\delta<1$ かつ $R>1$ の場合

はじめは初期状態より軽くなり($\sigma<0$)

やがて重たくなり($\sigma>0$)

定常状態($\sigma=R-1>0$)になる

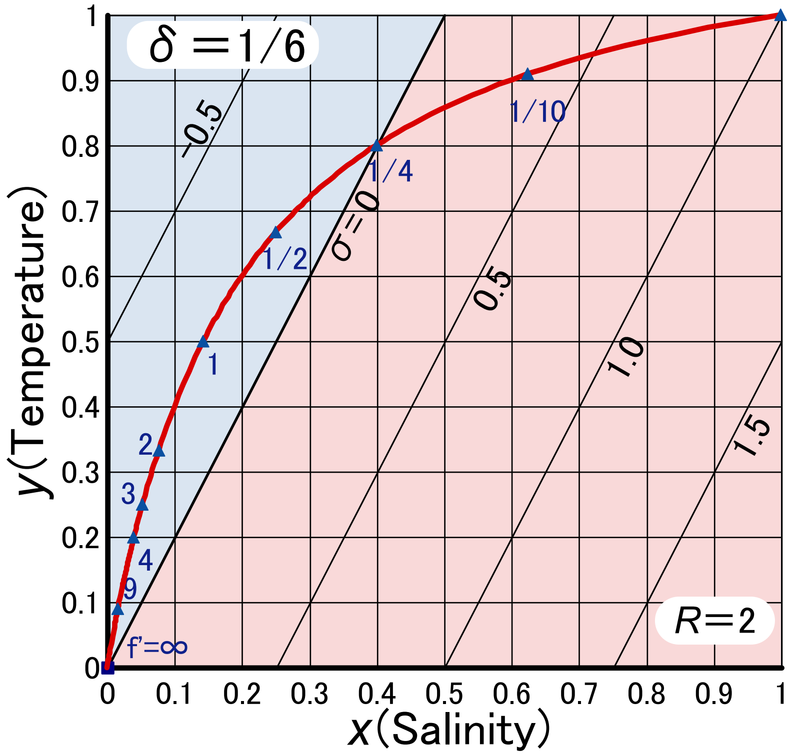
特殊な容器が用意され、容器内の温度 T・塩分 S が参照温度 T^*・参照塩分 S^* へ徐々に近づいてゆくようになっている。



Y. Yamanaka

熱塩循環の多重解(その2)

Stommel[1961] *Tellus*, 8, 224−229



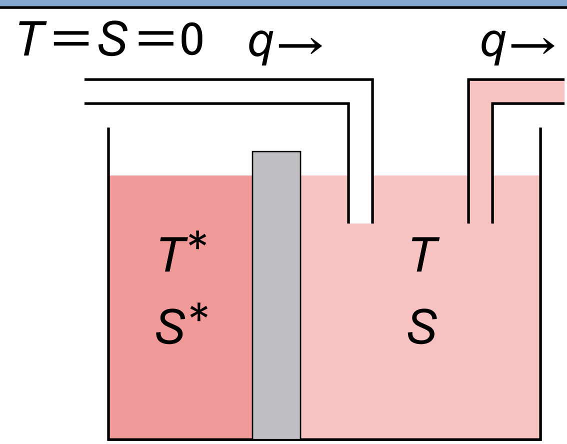
$$\frac{\partial T}{\partial t^*}=c(T^*-T)-qT=0$$
$$\frac{\partial S}{\partial t^*}=d(S^*-S)-qS=0 \qquad (7)$$

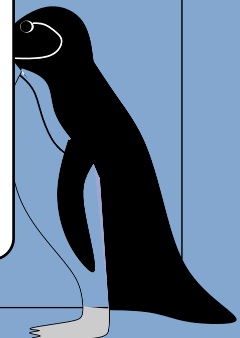
$\delta=\dfrac{d}{c}$ $\quad f'=\dfrac{q}{c}$ とおいて、無次元化すると

$$1-(1+f')y=0 \qquad \delta-(\delta+f')x=0 \qquad (8)$$

$$y=\frac{1}{1+f'} \qquad x=\frac{1}{1+f'/\delta} \qquad (9)$$

水($T=S=0$)が流量q(時間$1/q$で容器の水が入れ替わる)で流れ込み、(T,S)で流れ出すものとする。
速い流れ($q(f')$大)のとき、入ってきたときの値のまま、のんびりした流れのとき重い値、適当に速いとき、軽い値で、流れ出す。

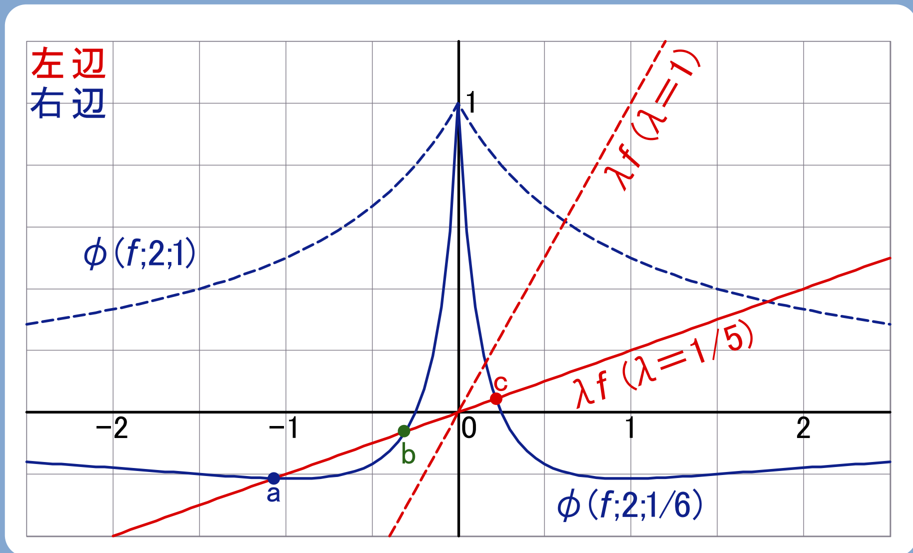


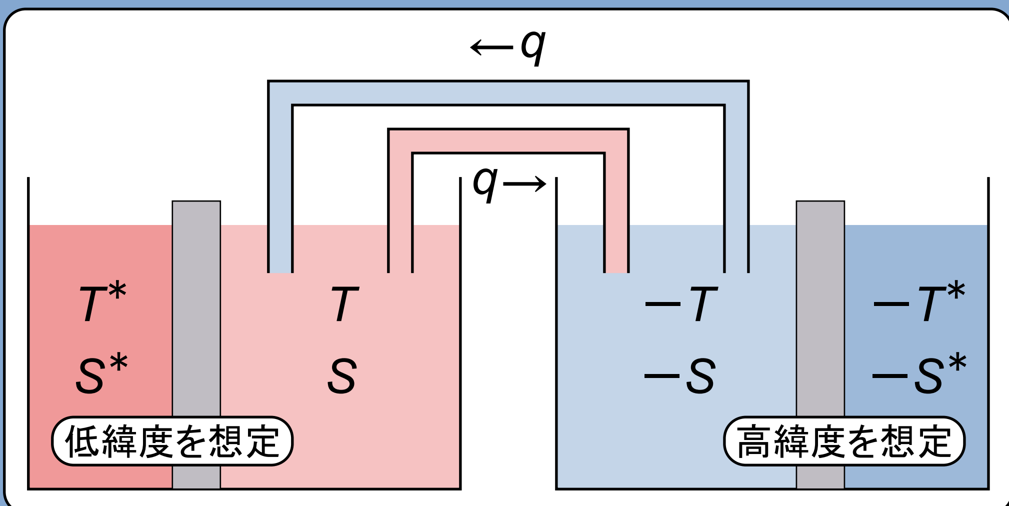


Y. Yamanaka

熱塩循環の多重解(その3)

Stommel[1961] *Tellus*, 8, 224–229





$$\frac{\partial T}{\partial t^*}=c(T^*-T)-|2q|T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t^*}=d(S^*-S)-|2q|S$$

$kq=\Delta\rho$ 流量は密度差に比例するものとする。

$f=\dfrac{2q}{c}$ $\lambda=\left(\dfrac{c}{4\rho_0\alpha T^*}\right)k$ とおいて、無次元化すると

$$\frac{\partial y}{\partial t}=1-y-|f|y \qquad \frac{\partial x}{\partial t}=\delta(1-x)-|f|x$$

$\lambda f=(-y+Rx)$ となる。定常状態は、

$$\lambda f=\phi(f;R;\delta)\equiv\left(-\frac{1}{1+|f|}+\frac{R}{1+|f|/\delta}\right)$$

を満たすfを左図から求めればよい(左辺と右辺が等しくなる交点がfの解)。

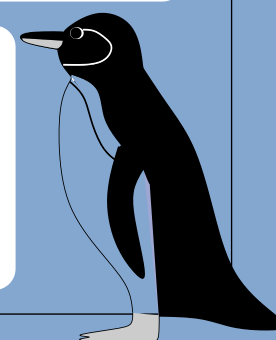
$y=\dfrac{1}{1+f}$ $x=\dfrac{1}{1+f/\delta}$ 得られたfからx,yが求められる。

$\lambda=1/5$, $R=2$, $\delta=1/6$のとき、fの定常解はa.b.cが得られる。

なお、多重解が得られる必要条件は,

$\delta R<1$ if $R>1$ または
$\delta R>1$ if $0<R<1$

また、十分条件として $\lambda\ll1$である。



北太平洋深層水に伴う深層循環の2つの安定解

Manabe and Stouffer(1988) *J. Clim.*,841-866

大気海洋結合大循環モデルを用いて平衡状態を求めた

実験 I	初期条件:	深層循環あり	→	定常状態:	深層循環あり
実験 II		深層循環なし			深層循環なし

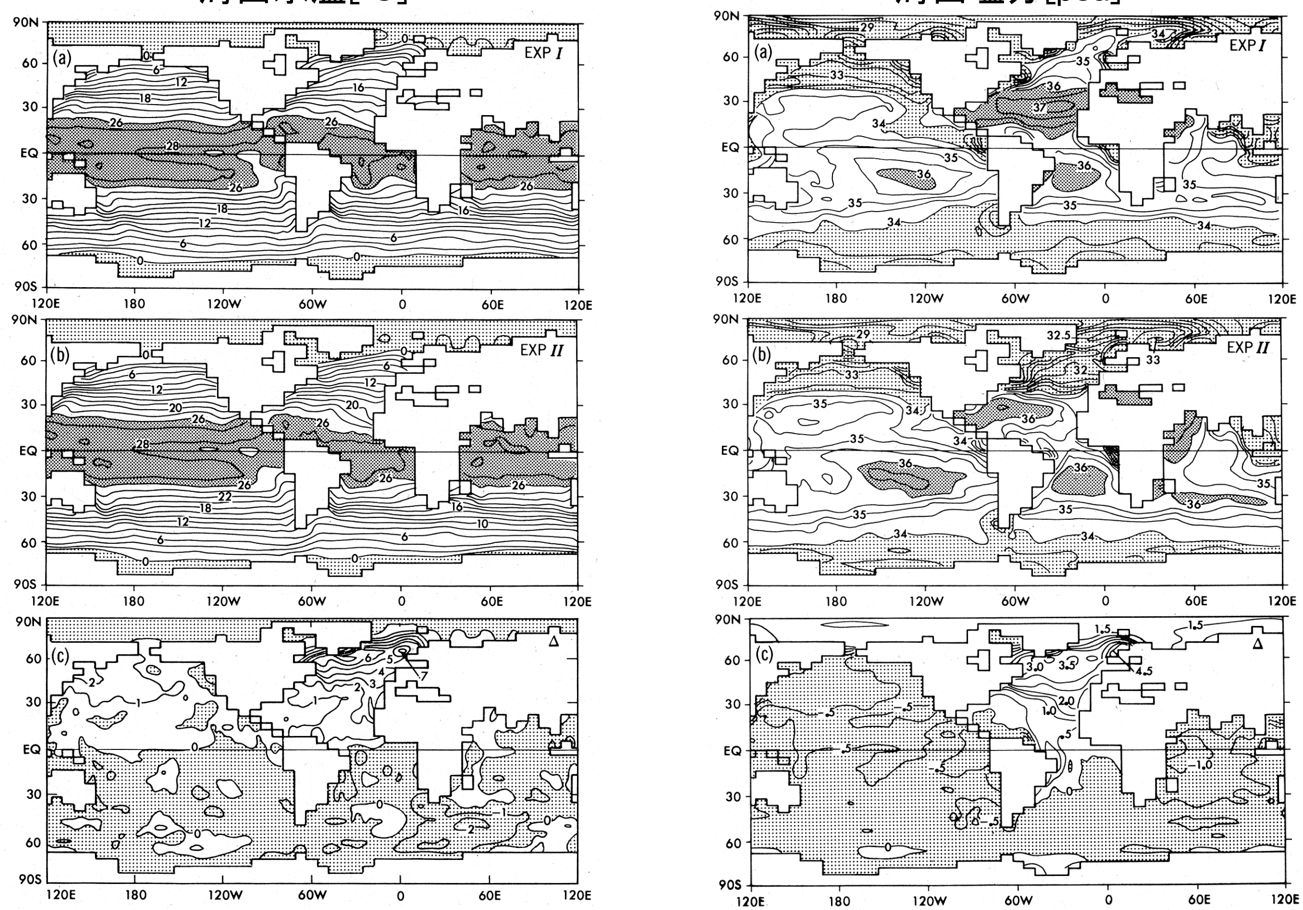
北大西洋における
海面水温・海面塩分に
大きな違いあり

海面水温[℃]　海面塩分[psu]

実験 I

実験 II

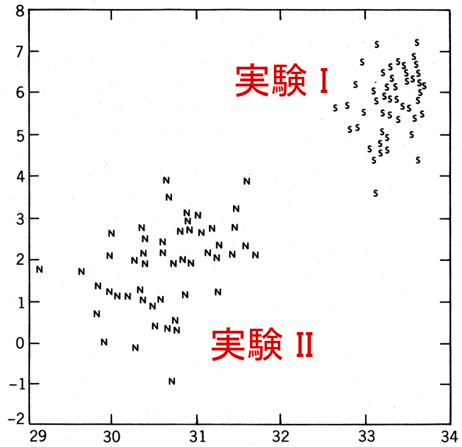
実験I－実験II



Y. Yamanaka

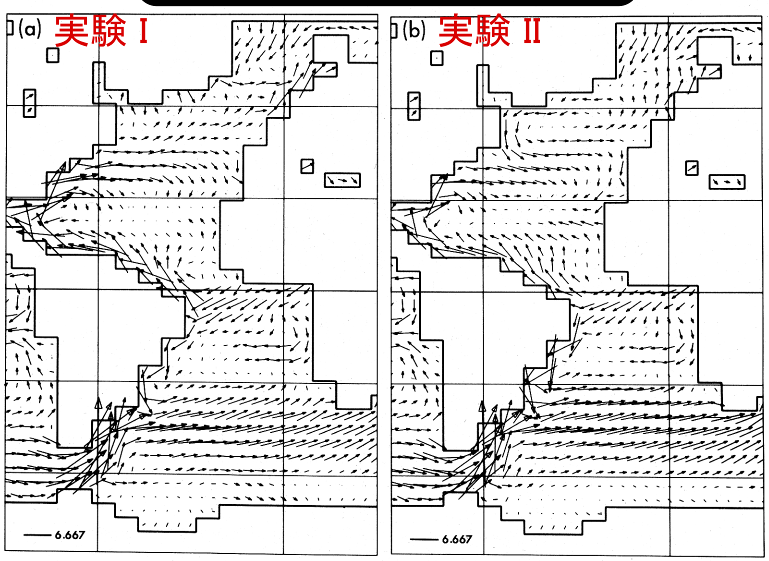
北太平洋深層水に伴う深層循環の2つの安定解

Manabe and Stouffer(1988) *J. Clim.*,841-866

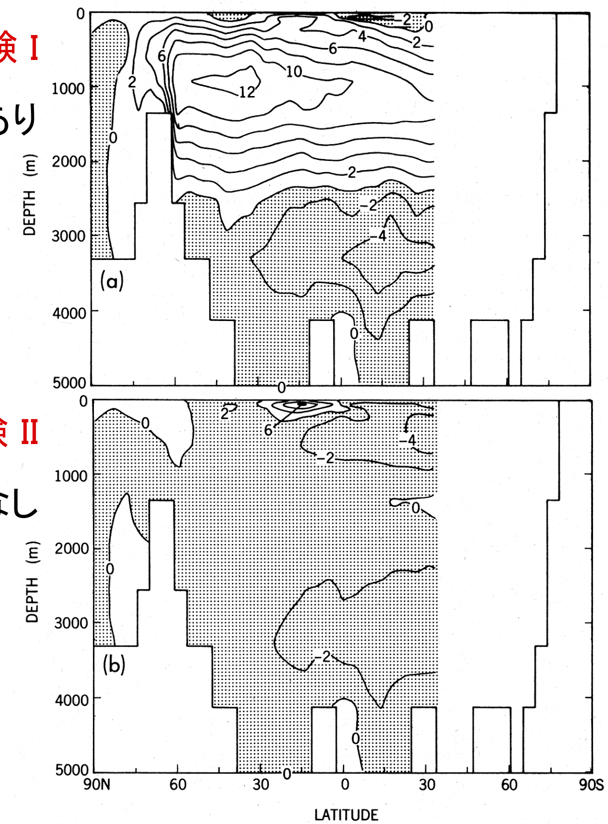


定常状態における500年間の北大西洋50Nから70Nまでの海面水温と海面塩分の分布

海洋表層における海流



子午面循環[Sv]



Thermohaline Catastrophe

極域で深層水が形成されていると、中低緯度の高塩分水が移流され、極域の海面塩分濃度が高くなり深層水が形成しやすくなる。逆に深層水形成がいったん弱くなると、ますます弱くなる。