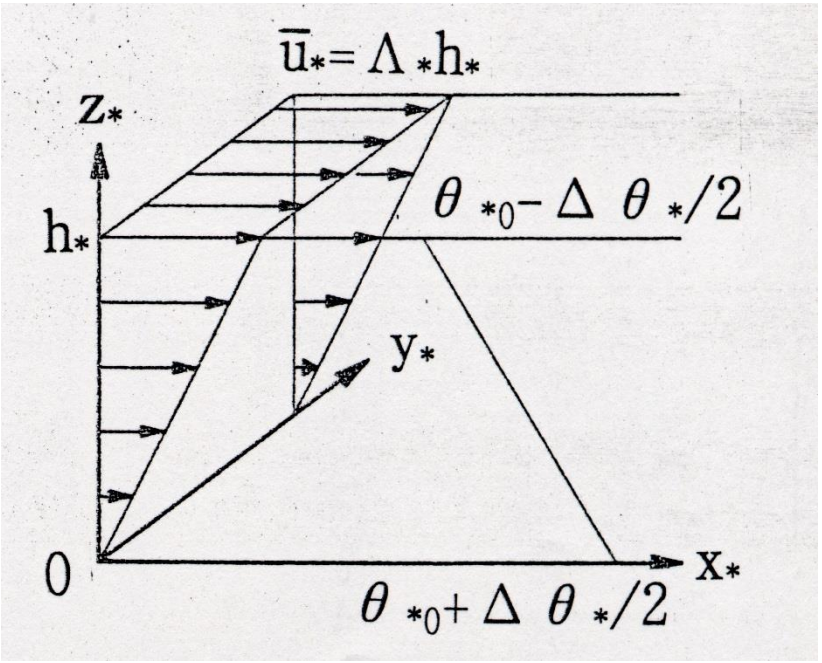
●鉛直シアを持つ流れの中の対流

ーどのようなモードが選択されるか？

Longitudinal mode or transverse mode?ー

・不安定な成層を持ち一定の鉛直シアを持つ流れがある厚さh_*の流体の不安定性を調べる. (Kuo 1963, Asai 1970)

・微小振幅擾乱に関する支配方程式:



$$\bar{u}_* = \Lambda_* z_*, \quad b'_* = g_* \frac{\theta'_*}{\theta_{*0}}, \quad \frac{d\bar{b}_*}{dz_*} = -\frac{g_* \Delta\theta_*}{\theta_{*0} h_*}$$

無次元パラメーター

$$Ri = \frac{g_* \Delta\theta_*}{\theta_{*0} h_* {\Lambda_*}^2}$$

（不安定を正と定義）

運動エネルギーK:

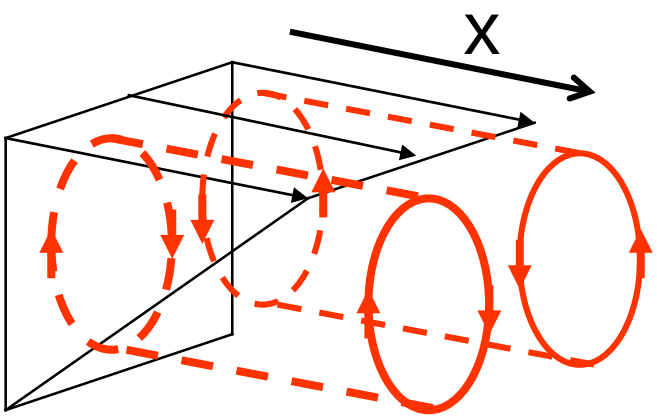
$$K' = \iiint \frac{1}{2}\left(u'^2 + v'^2 + w'^2\right) dxdydz,$$

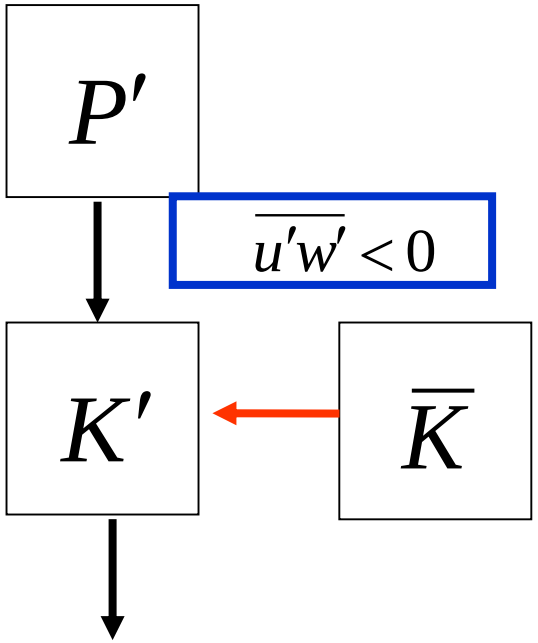
$$\frac{dK'}{dt} = \iiint \left(-u'w'\right) dxdydz + \iiint \left(Rib'w'\right) dxdydz.$$

K⇔K’　　P→K’

- **P→K’（位置エネルギーから擾乱の運動エネルギーへの転換）は正**
- **K⇔K’（平均運動エネルギーから擾乱の運動エネルギーへの変換)は正か負か今のところ不明。これを決める。**

○ Longitudinal mode:　y方向にモードを持つ

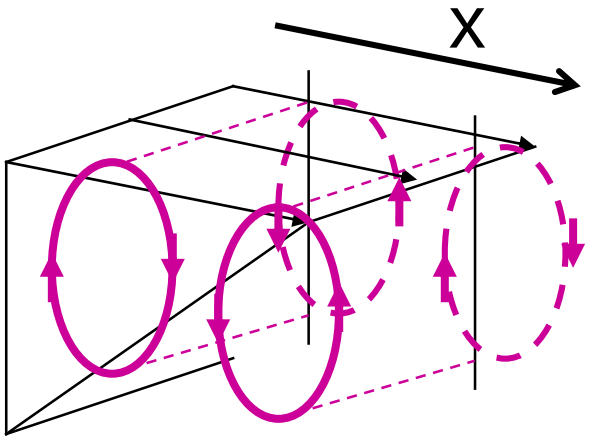


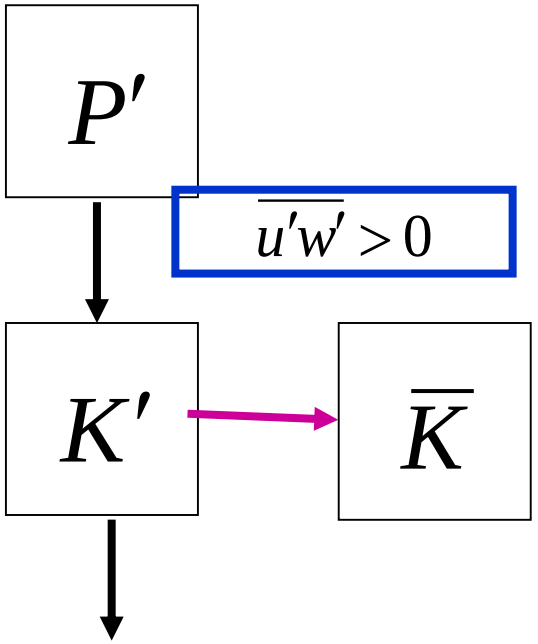


・K’の時間変化に寄与する二つの項は両方とも正.

詳しくは23参照。

○ Transverse mode:　x方向にモードを持つ



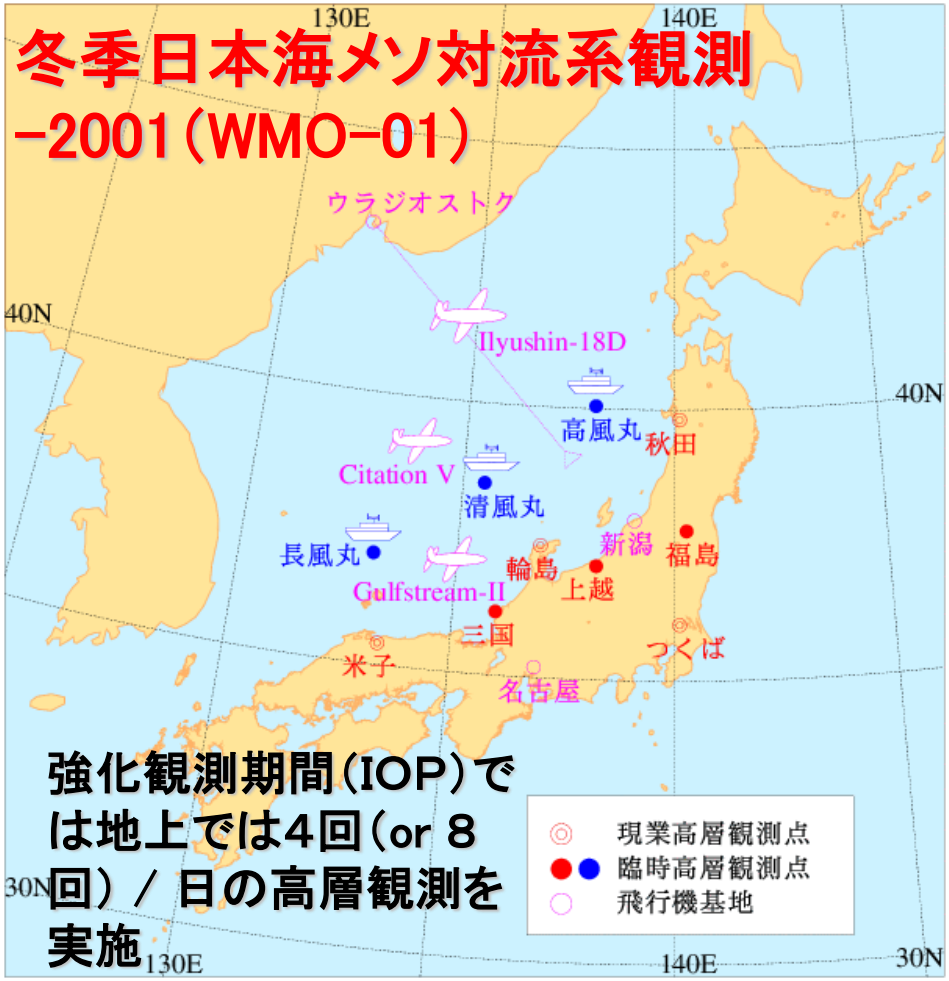


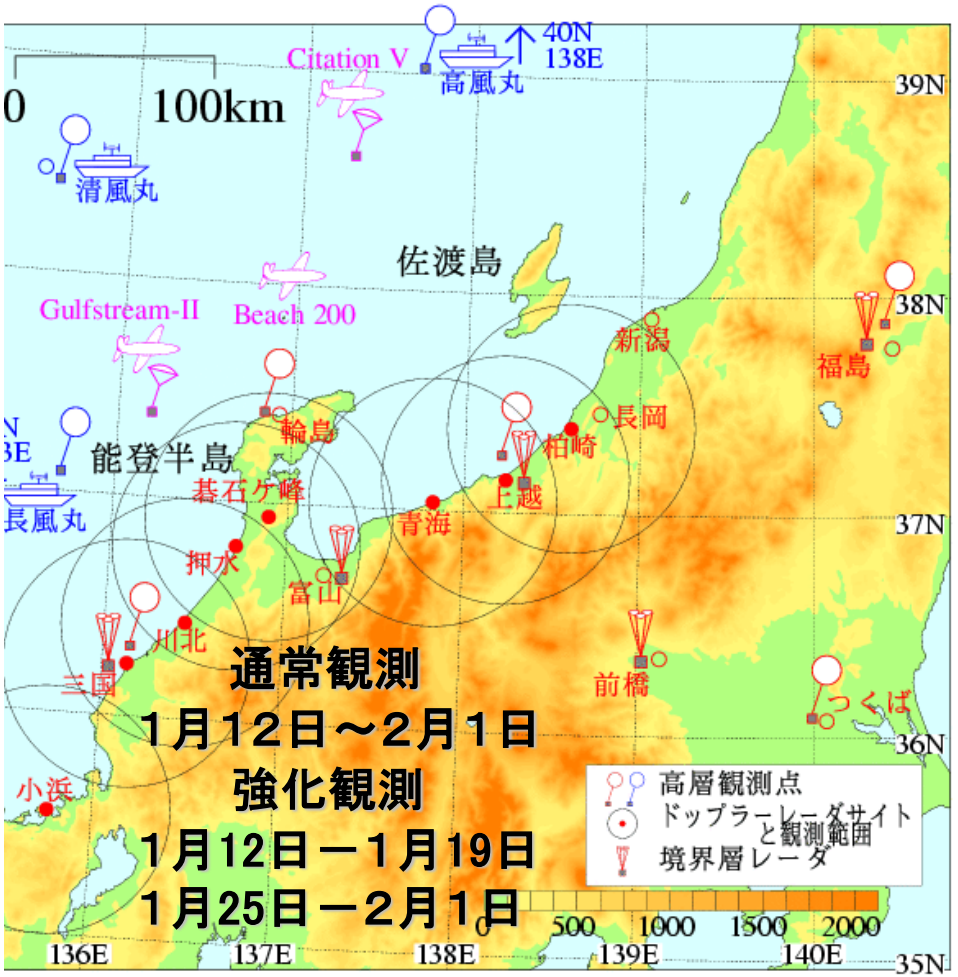
・セルはシアのある方向に傾く.

・K’の時間変化に寄与する二つの項のうち，
第2項は正であるが，第1項は負となる．（詳しくは24）
→　成長率がLモードに比べて小さくなる.

鉛直シア流があると、シア流方向のロール解（Lモード）が卓越する

冬季日本海における野外観測





WMO: Winter MCSs Observations

2001年,2002年,2003年

WMO-01のスナップ写真

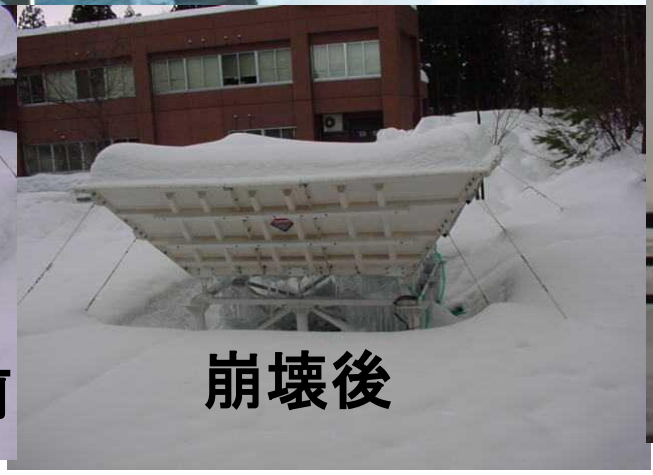
着氷した高風丸

日本海側の豪雪

ドップラーレーダー（上越）

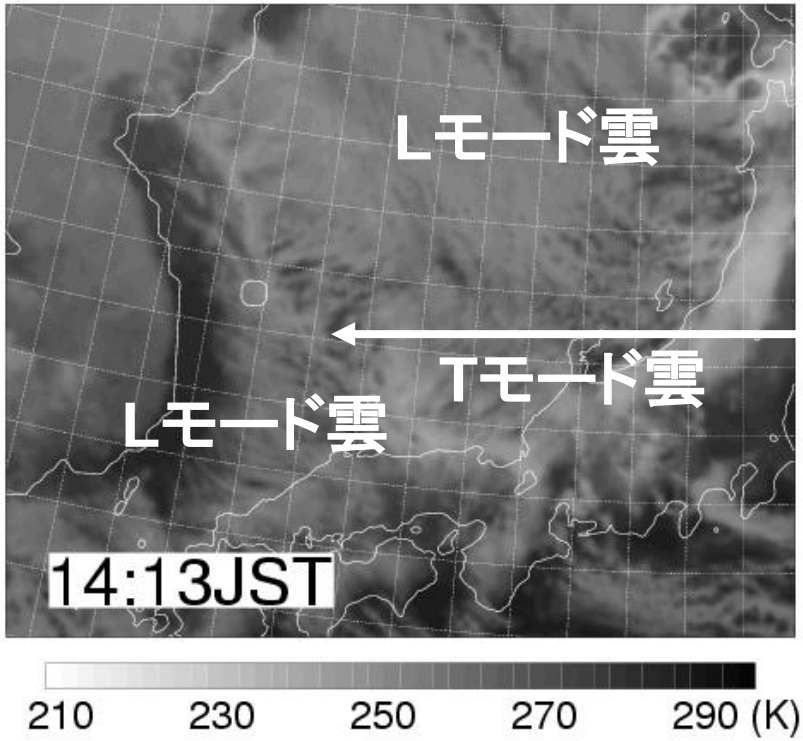
上越における高層観測

境界層レーダー崩壊前



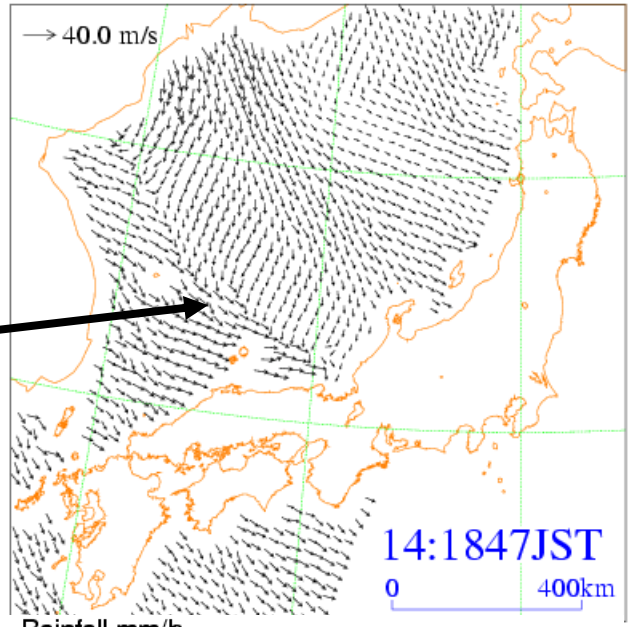
崩壊後

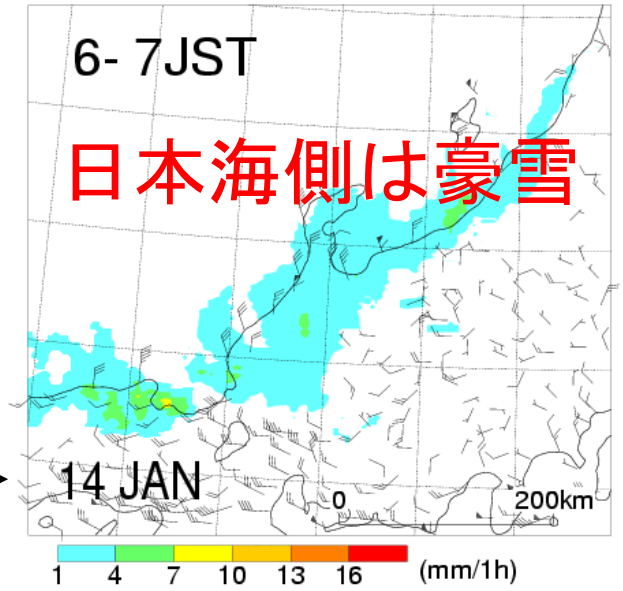
2001年1月14日における衛星画像, QuikSCATによる海上風,レーダーアメダス解析雨量の水平分布



JPCZ

日本海
寒帯気団
収束帯



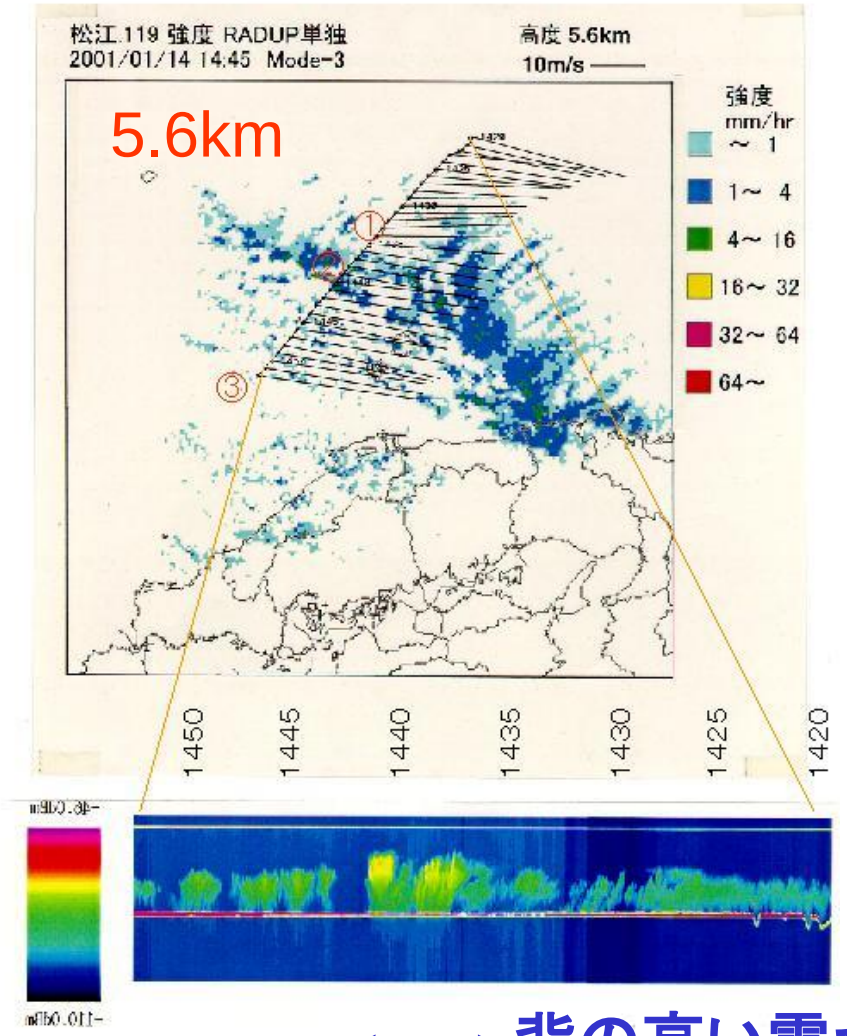


JPCZと雲列（Tモード雲，Lモード雲）

- 寒気の吹き出し
- JPCZでは強い収束と水平シア

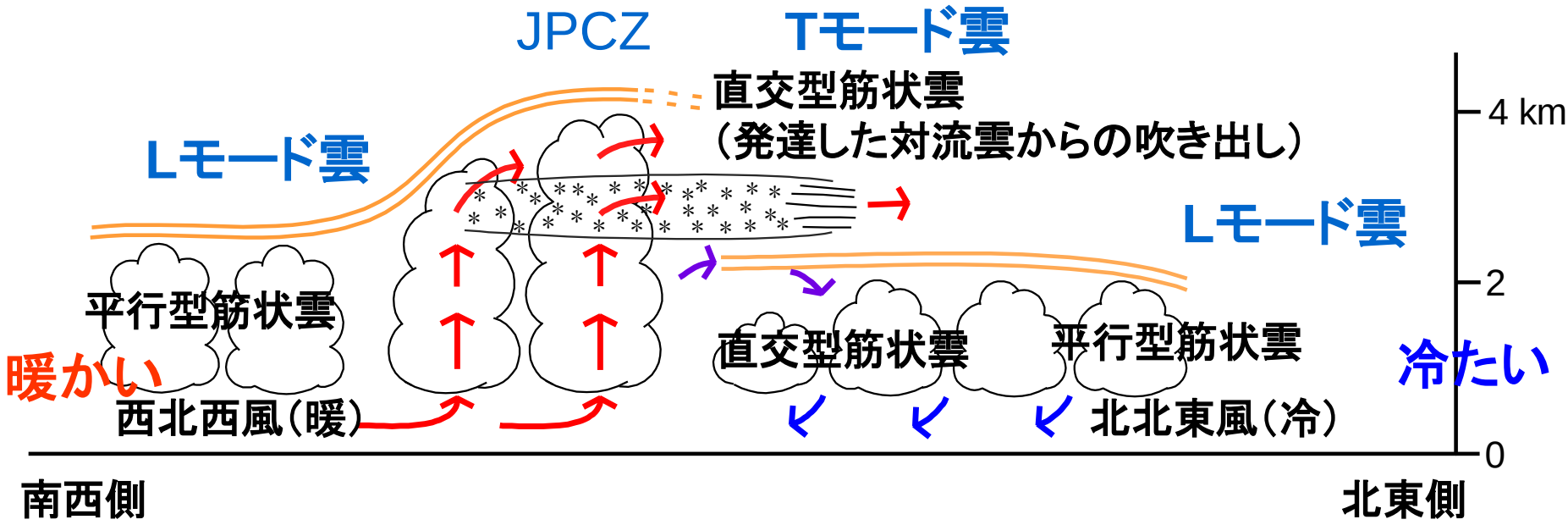
日本海側と太平洋側で天気が異なる→

航空機によるJPCZの観測（1月14日）　*村上ほか*



⟷ 背の高い雲がある

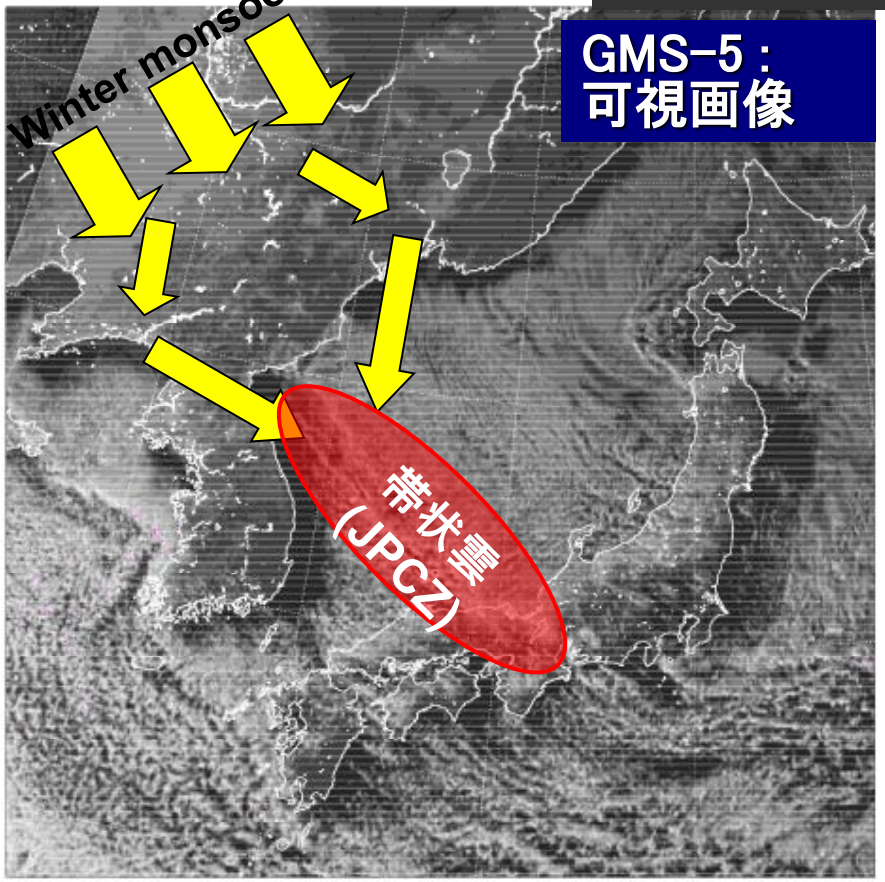
航空機観測から得られたJPCZの概念図

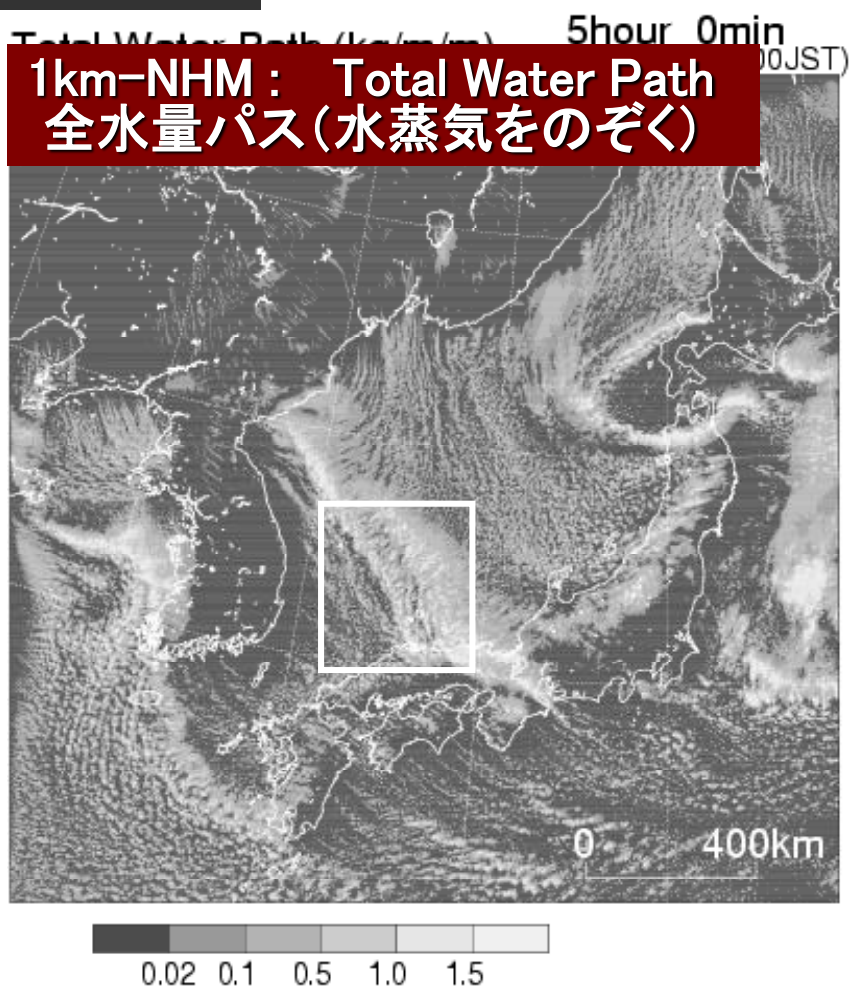


- 水平収束をつくる２つの気団のうち南西側が温暖であった.
- Ｔモード雲の上層は帯状雲の南西縁の対流雲から吹き出した層状性の雲.
  ただしTモード雲の下層は対流的であった.

2001年1月14日の事例
1km-NHMによる再現実験

2001年1月14日15JST

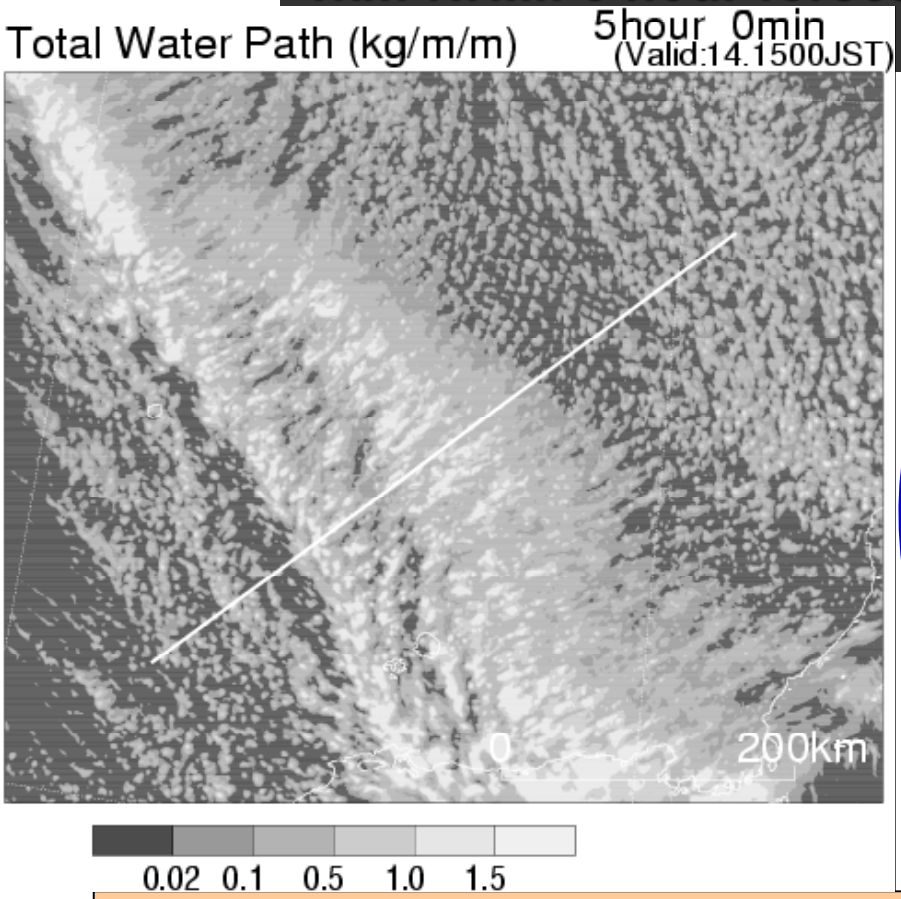


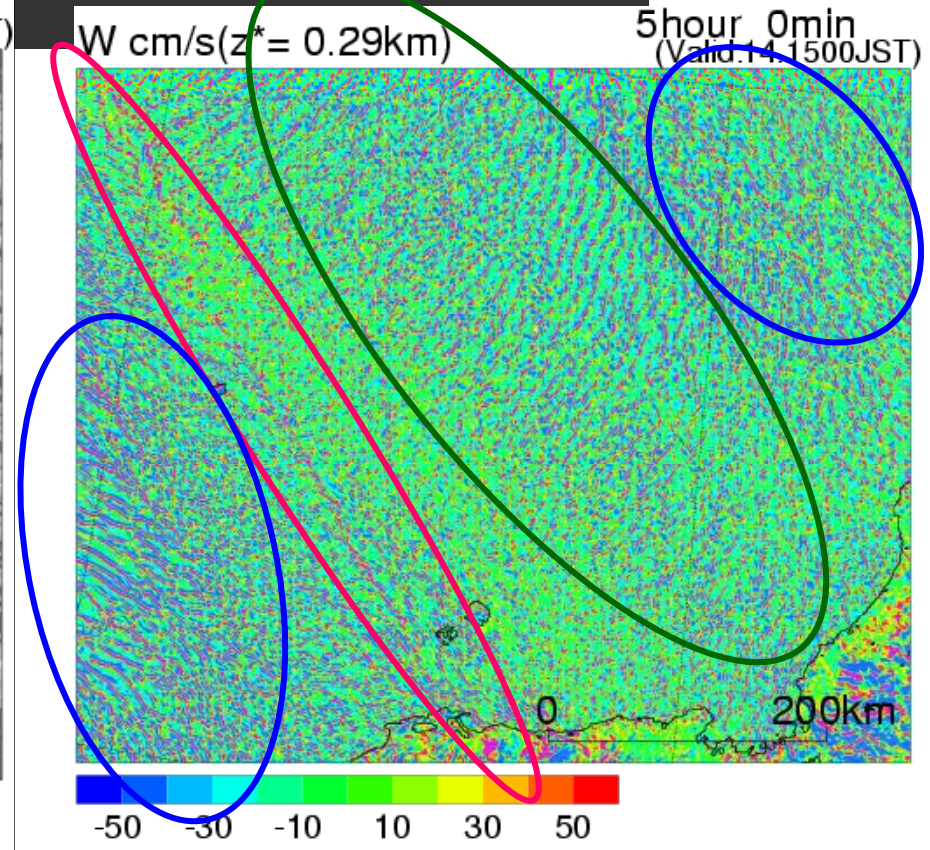


●1km-NHMはJPCZをもっともらしく再現した.
●周辺の雲列ももっともらしく再現した.

鉛直流

1km-NHM: 5 hour forecast (15JST 14 JAN.



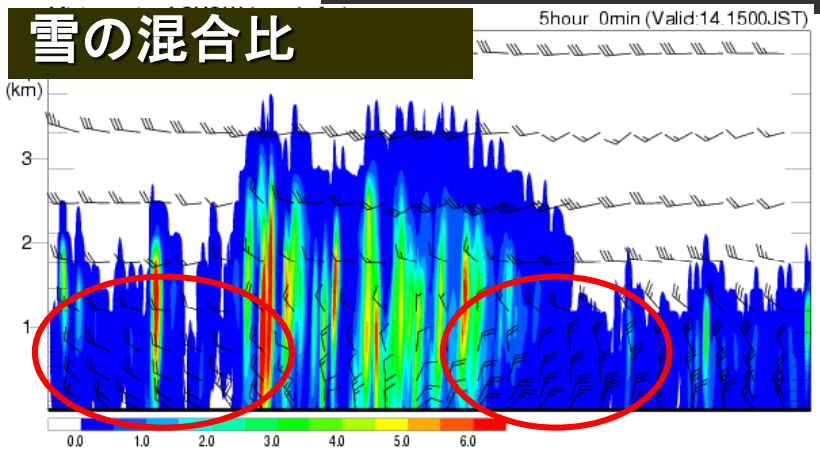


- 強い上昇流のラインはJPCZの南西端に対応した.
- 筋状の対流域がLモード雲域にあった.
- 同様の筋状の対流域がTモード雲域にも見つかった.
- Tモード雲域の筋状の対流は鉛直シアの方向に平行であった.

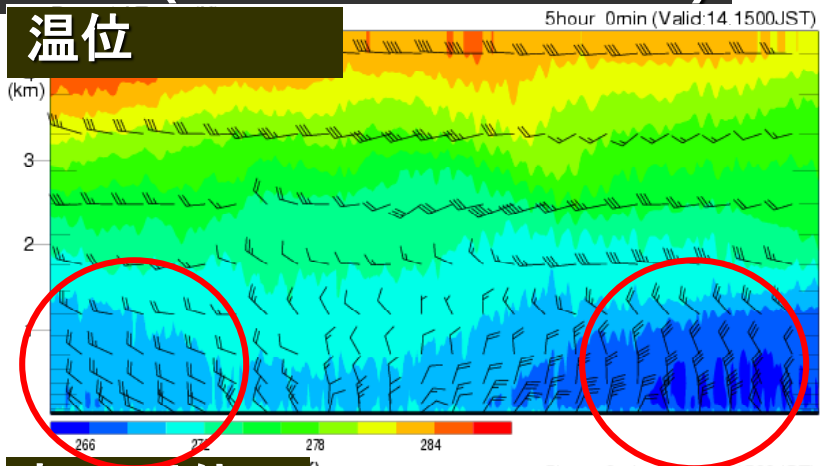
詳細な構造

1km-NHM: 5 hour forecast (15JST 14 JAN. 2001)

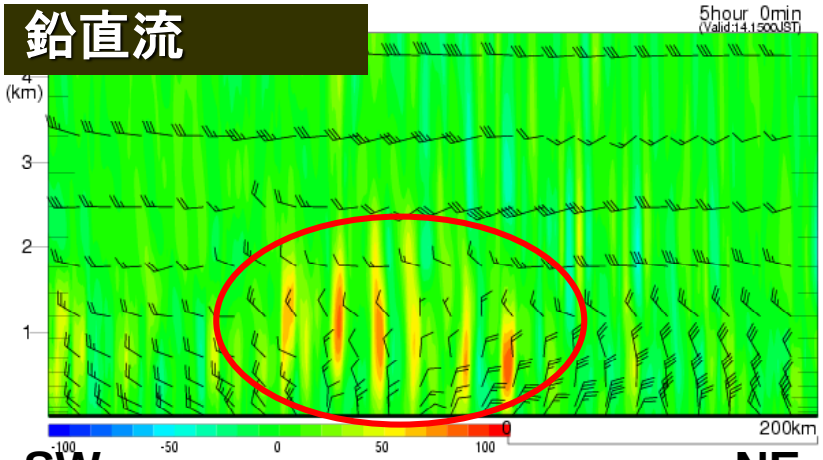
雪の混合比



温位

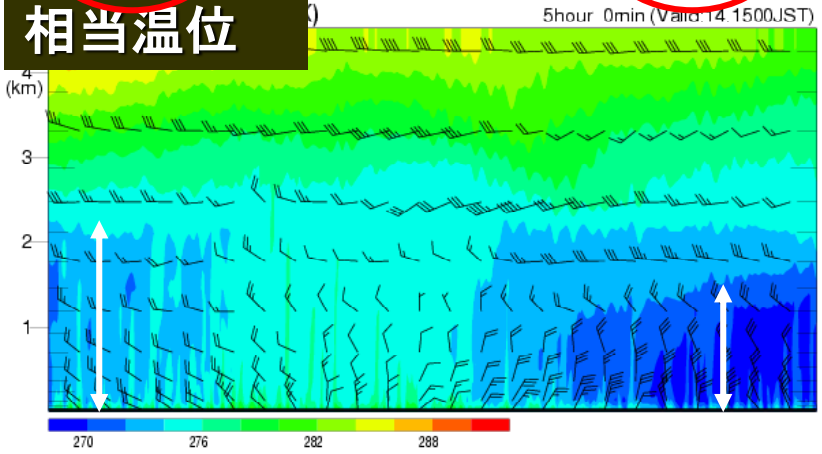


鉛直流



SW NE

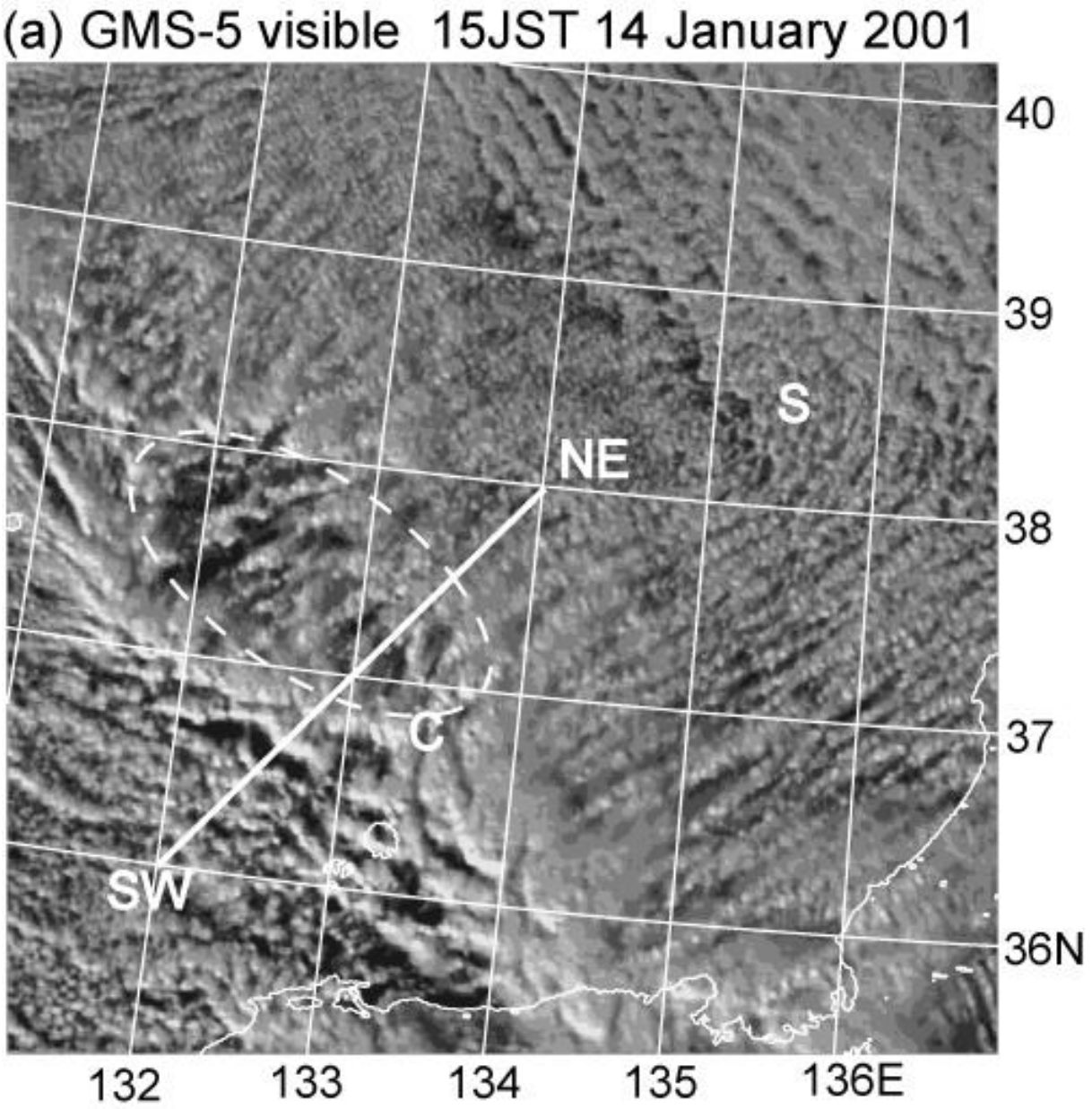
相当温位



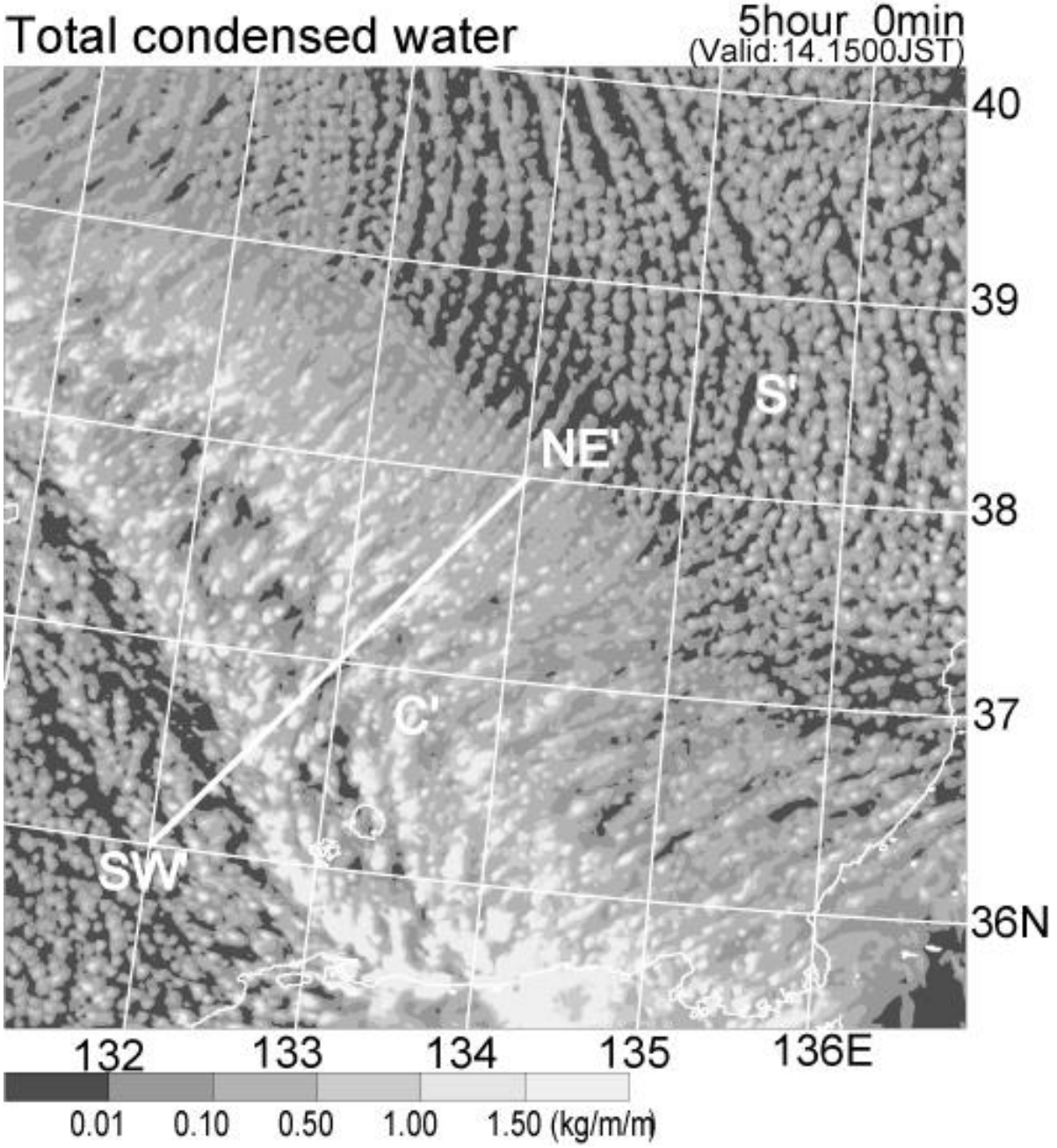
SW NE

- JPCZは高度1km以下の西北西風と北北東風の間で形成された.
- 鉛直流で見ると、Tモード雲は対流性であった.（風の場に注目）
- JPCZの南西側の気団がより暖かかった.
- 対流混合層の厚さは南西側が高かった.

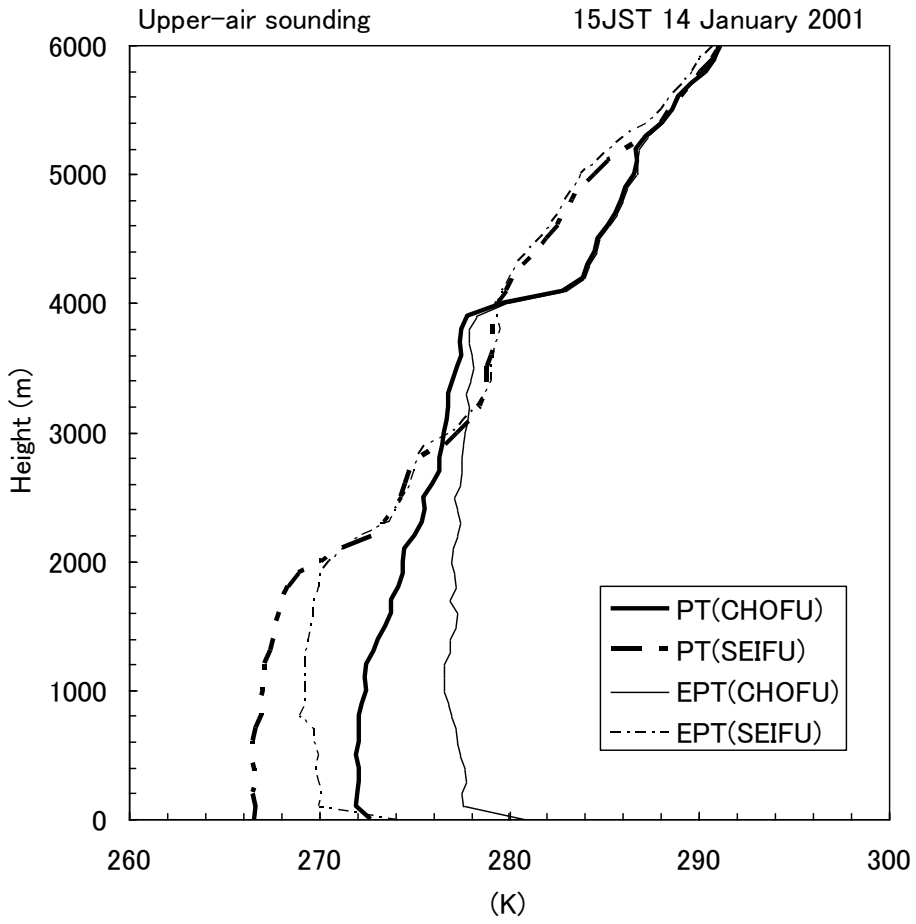
実況


(a) GMS-5 visible 15JST 14 January 2001
40
39
38
37
36N
132
133
134
135
136E
S
NE
C
SW

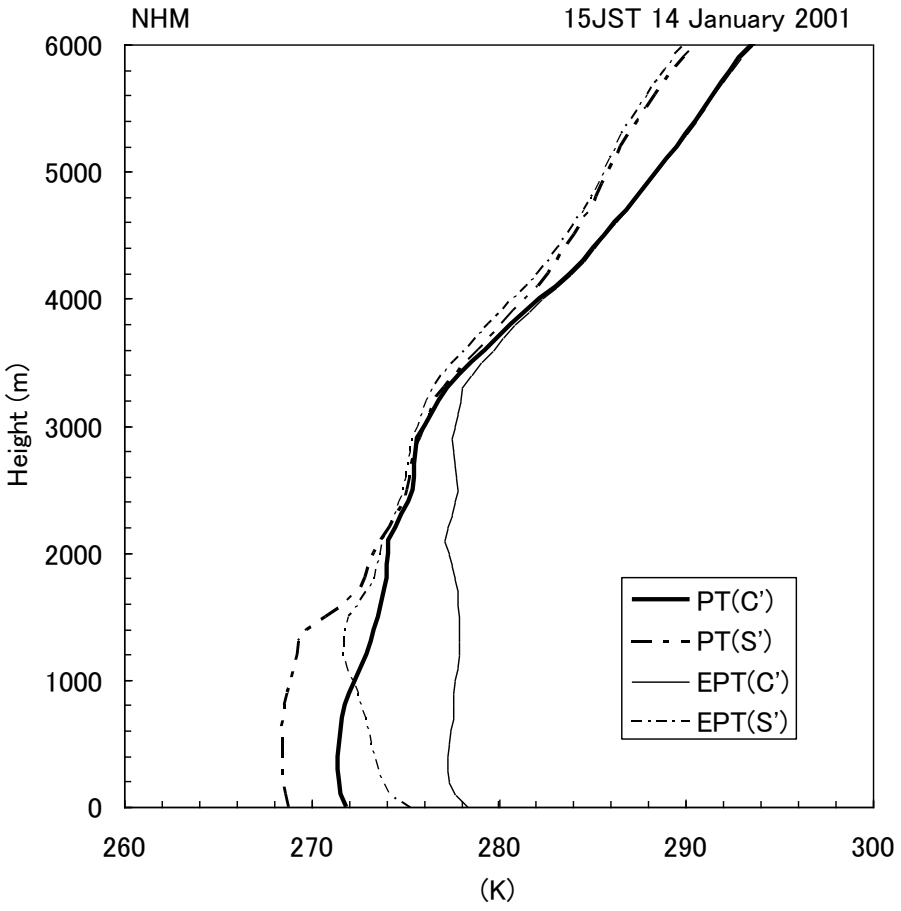
再現実験


Total condensed water
5hour 0min
(Valid:14.1500JST)
40
39
38
37
36N
132
133
134
135
136E
S'
NE'
C'
SW'
0.01
0.10
0.50
1.00
1.50 (kg/m/m)

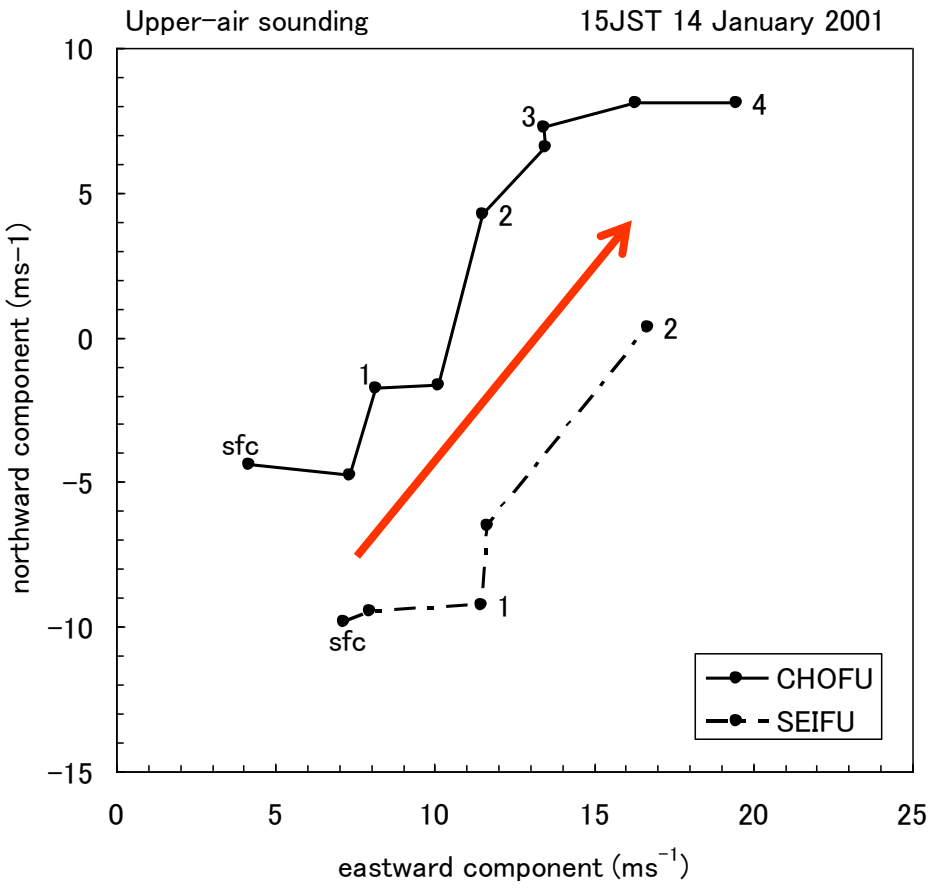
観測　温位･相当温位



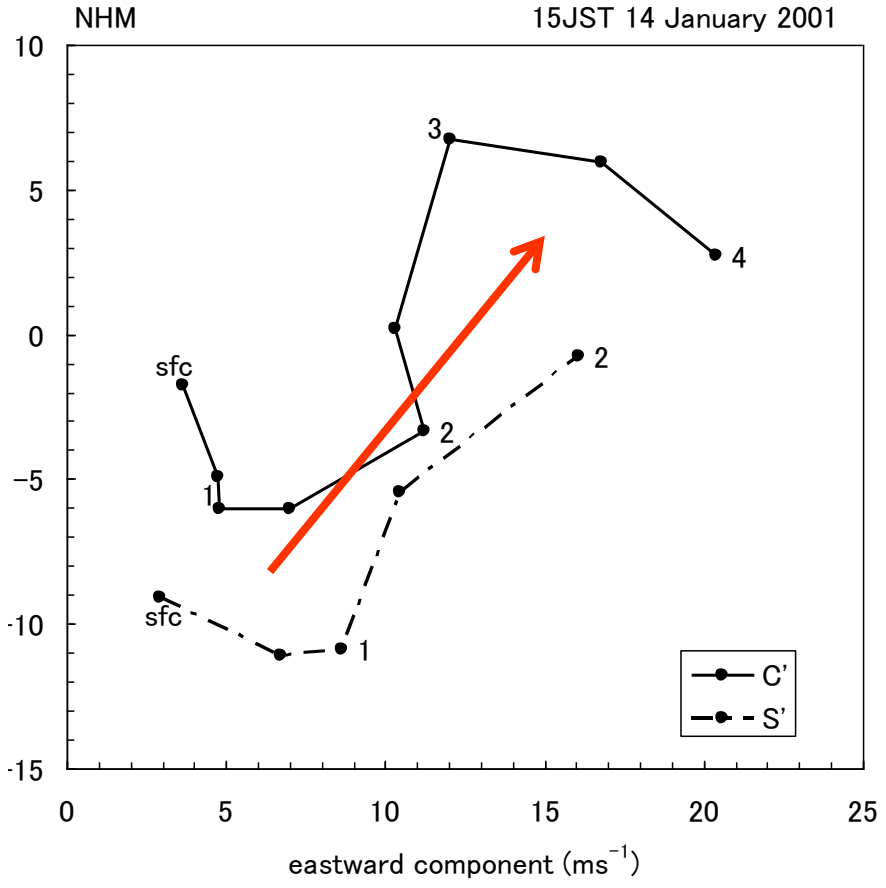
再現実験　温位･相当温位

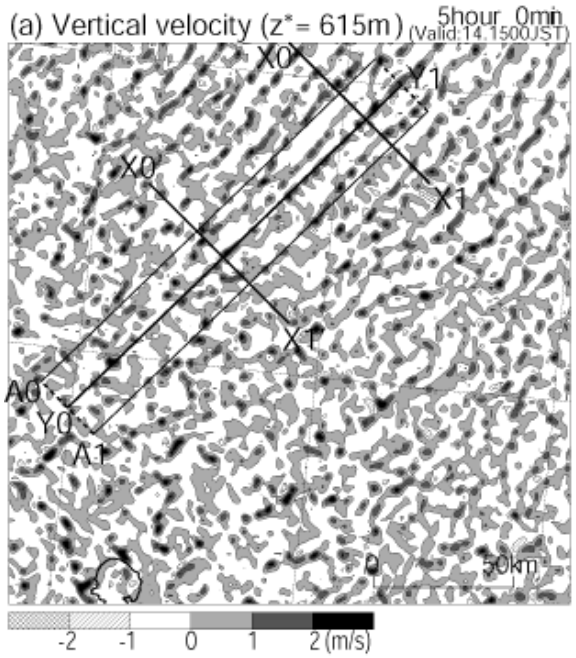


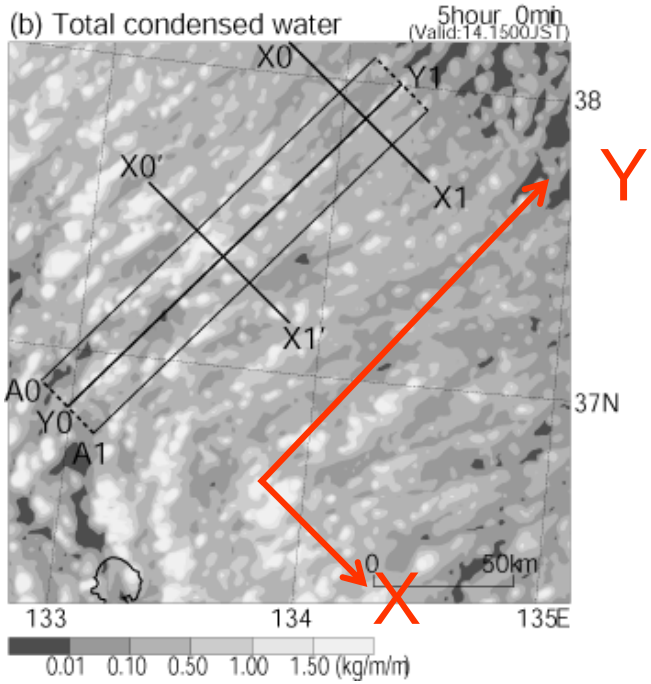
観測　水平風

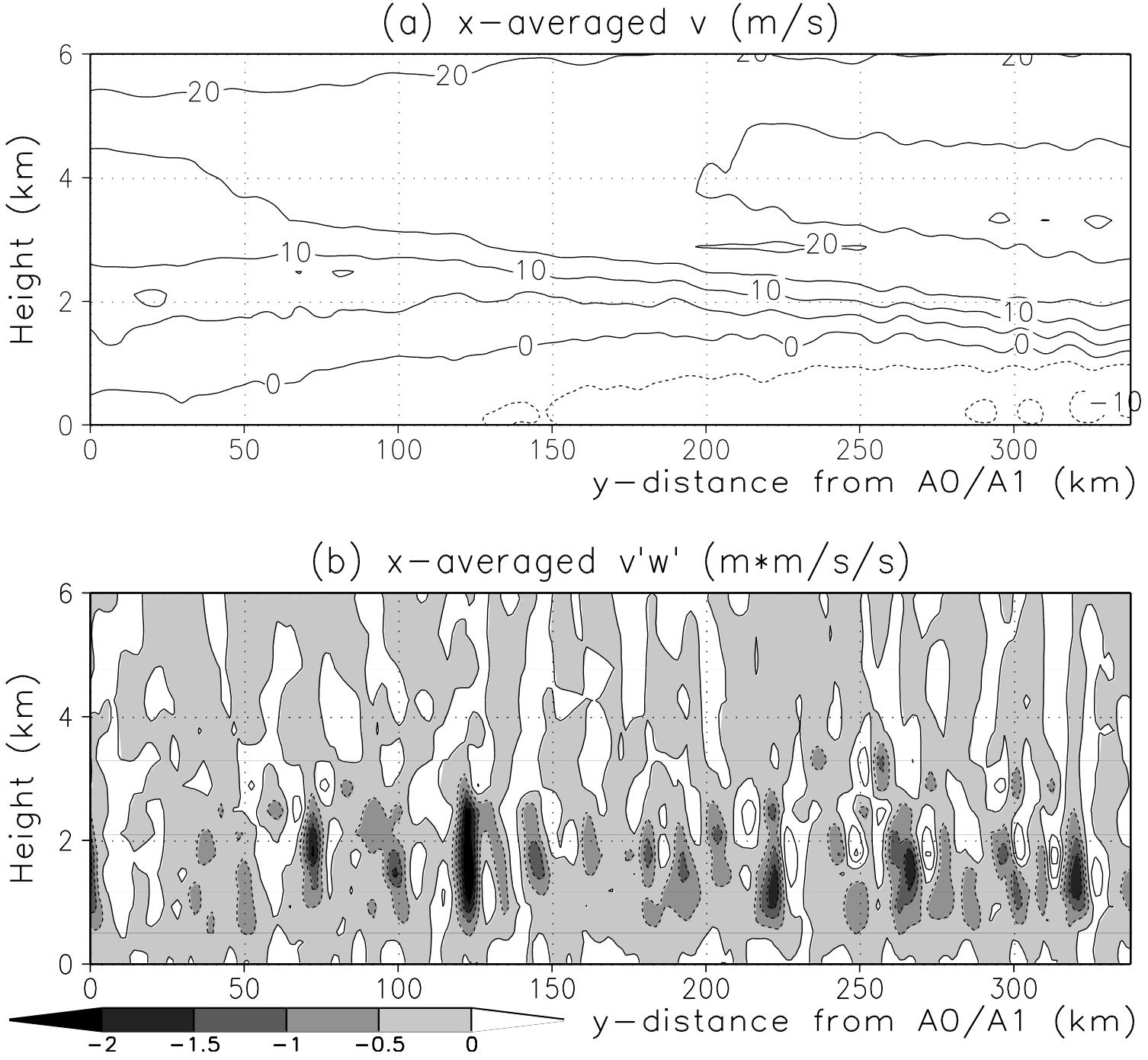


再現実験　水平風

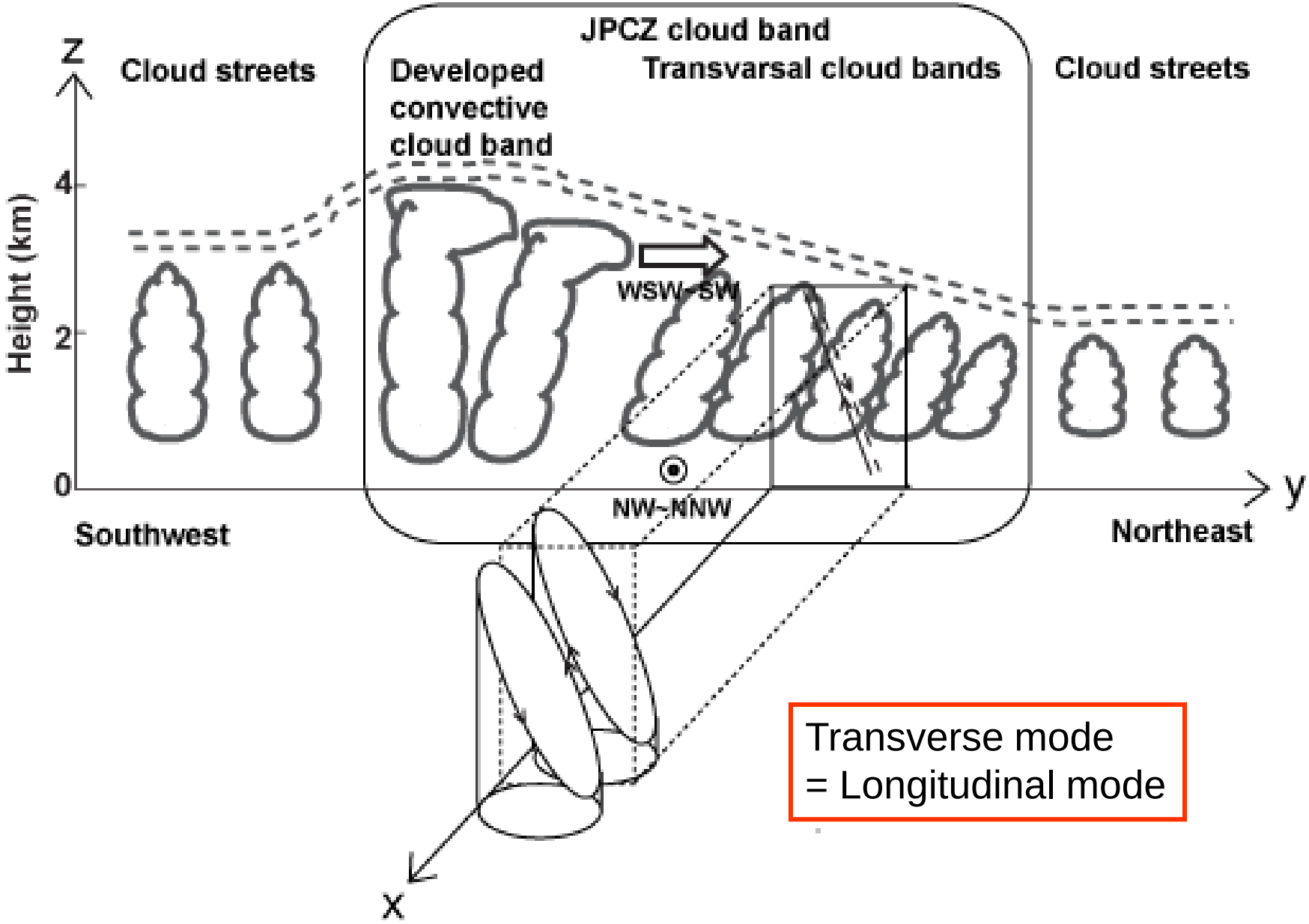



(a) Vertical velocity (z*= 615m)
5hour 0min
(Valid:14.1500JST)
X0
Y1
X0'
X1
X1'
A0
Y0
A1
0
50km
-2
-1
0
1
2 (m/s)


(b) Total condensed water
5hour 0min
(Valid:14.1500JST)
X0
Y1
X0'
X1
X1'
A0
Y0
A1
38
37N
Y
X
0
50km
133
134
135E
0.01
0.10
0.50
1.00
1.50 (kg/m/m)

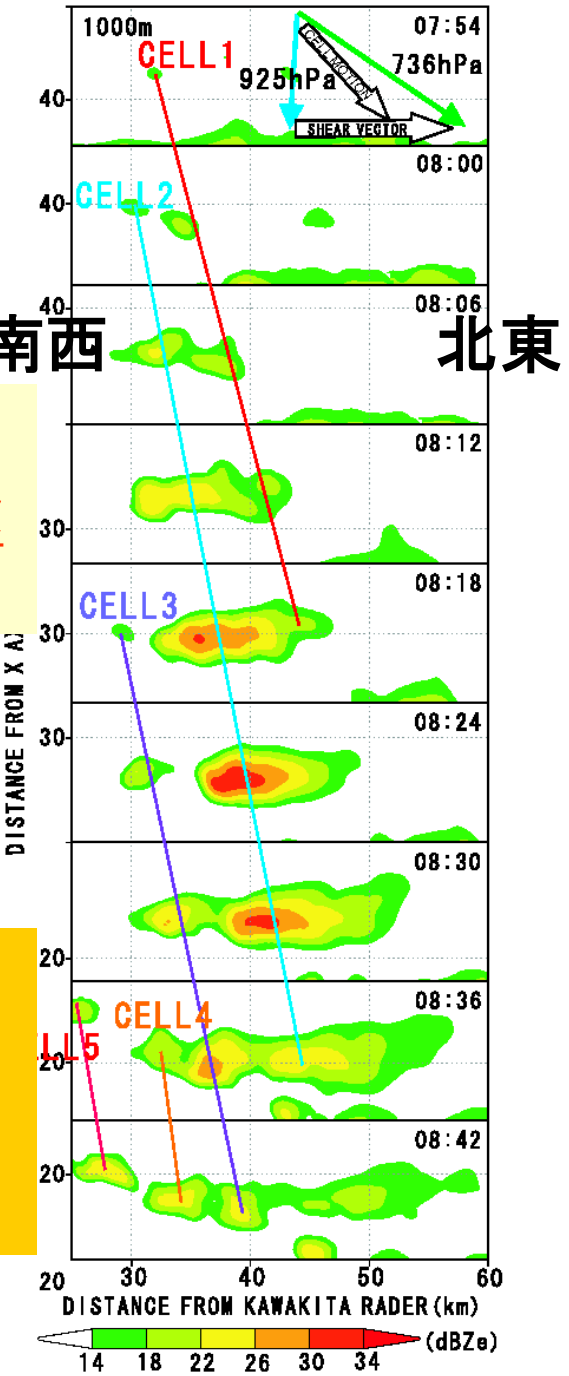

(a) x−averaged v (m/s)
Height (km)
y−distance from A0/A1 (km)
20
10
0
−10
(b) x−averaged v'w' (m∗m/s/s)
Height (km)
y−distance from A0/A1 (km)
−2
−1.5
−1
−0.5
0

v ‘w’ <0

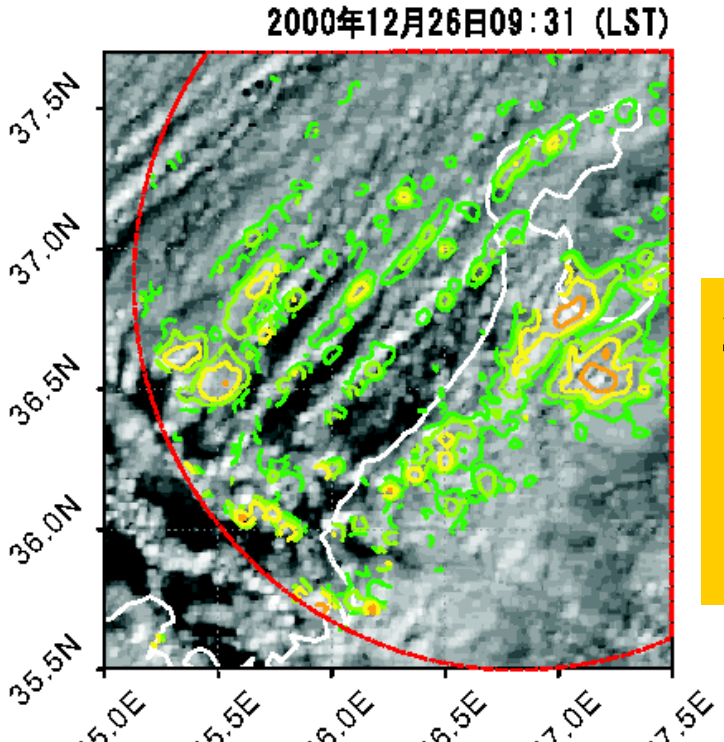


Transverse mode
= Longitudinal mode

2001.1.14
航空機観測



Tモード雲は風の鉛直シアに平行な対流モード！



2000.12.26
ドップラー
レーダー観測
(*清水ほか,2003*)

絶対不安定成層における対流のまとめ

・対流の縦横比はオーダー1

・（ふたありの場合）Raの増加と共に、粘性解→定常2次元ロール解→定常3次元解→乱流、へと発展する.

・対流パターンは鉛直方向のひずみによる

二次元ロール解は上下に対称の場合、
六角形セル解は上下に非対称の場合に起こる.

・鉛直シア流があると、エネルギーの流れから、
風の方向に沿う走向の二次元ロール解が実現する.

$$\frac{\partial u'_*}{\partial t_*} = -\bar{u}_* \frac{\partial u'_*}{\partial x_*} - w'_* \frac{d\bar{u}_*}{dz_*} - \frac{1}{\rho_{*0}} \frac{\partial p'_*}{\partial x_*}, \quad (1)^*$$

$$\frac{\partial v'_*}{\partial t_*} = -\bar{u}_* \frac{\partial v'_*}{\partial x_*} - \frac{1}{\rho_{*0}} \frac{\partial p'_*}{\partial y_*}, \quad (2)^*$$

$$\frac{\partial w'_*}{\partial t_*} = -\bar{u}_* \frac{\partial w'_*}{\partial x_*} - \frac{1}{\rho_{*0}} \frac{\partial p'_*}{\partial z_*} + b'_*, \quad (3)^*$$

$$\frac{\partial u'_*}{\partial x_*} + \frac{\partial v'_*}{\partial y_*} + \frac{\partial w'_*}{\partial z_*} = 0, \quad (4)^*$$

$$\frac{\partial b'_*}{\partial t_*} = -\bar{u}_* \frac{\partial b'_*}{\partial x_*} - w'_* \frac{d\bar{b}_*}{dz_*}. \quad (5)^*$$

$$\bar{u}_* = \Lambda_* z_*, \quad b'_* = g_* \frac{\theta'_*}{\theta_{*0}}, \quad \frac{d\bar{b}_*}{dz_*} = -\frac{g_* \Delta\theta_*}{\theta_{*0} h_*}$$

無次元化

$$\frac{\partial u'}{\partial t} = -z \frac{\partial u'}{\partial x} - w' - \frac{\partial p'}{\partial x}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v'}{\partial t} = -z \frac{\partial v'}{\partial x} - \frac{\partial p'}{\partial y}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial w'}{\partial t} = -z \frac{\partial w'}{\partial x} - \frac{\partial p'}{\partial z} + Rib', \quad (3)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial b'}{\partial t} = -z \frac{\partial b'}{\partial x} + w'. \quad (5)$$

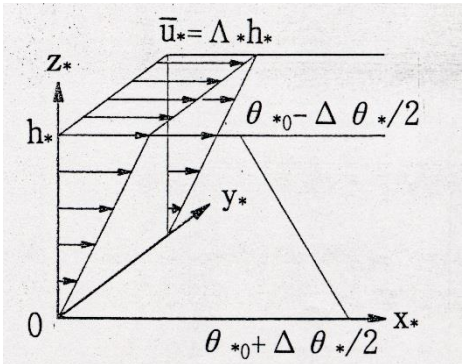
●鉛直シアを持つ流れの中の対流

ーどのようなモードが選択されるか？

Longitudinal mode or transverse mode?ー

・不安定な成層を持ち一定の鉛直シアを持つ流れがある厚さh_*の流体の不安定性を調べる. (Kuo 1963, Asai 1970)

・微小振幅擾乱に関する支配方程式:



○ Longitudinal mode:　y方向にモードを持つ

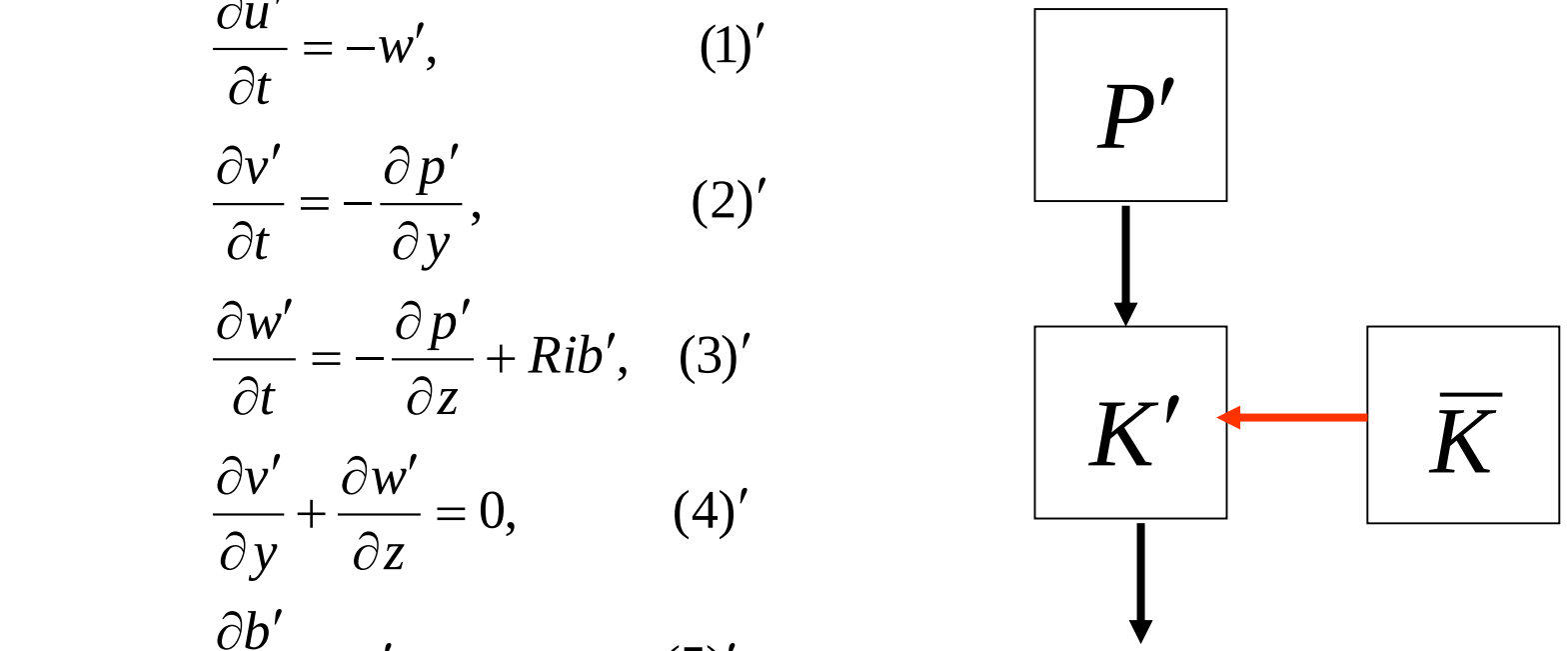
$$\frac{\partial u'}{\partial t} = -w', \qquad (1)'$$

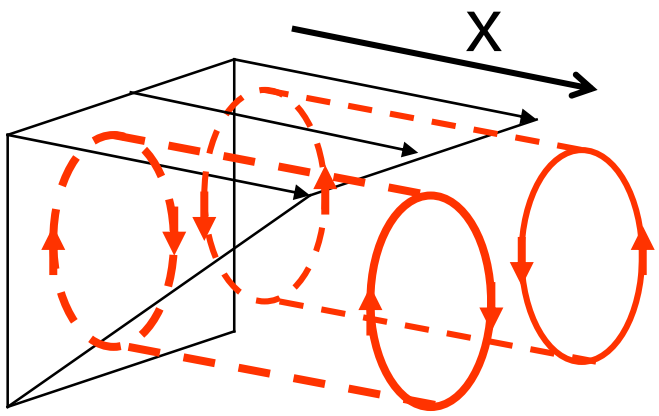
$$\frac{\partial v'}{\partial t} = -\frac{\partial p'}{\partial y}, \qquad (2)'$$

$$\frac{\partial w'}{\partial t} = -\frac{\partial p'}{\partial z} + Rib', \qquad (3)'$$

$$\frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0, \qquad (4)'$$

$$\frac{\partial b'}{\partial t} = w'. \qquad (5)'$$





・(2)’～(5)’で閉じた系　→　2次元Rayleigh対流

・(1)’は鉛直流による基本流の移流　→

$$\overline{u'w'} < 0$$

・K’の時間変化に寄与する二つの項は両方とも正.

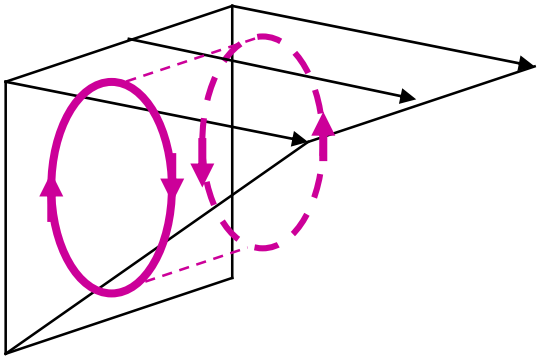
○ Transverse mode:　x方向にモードを持つ

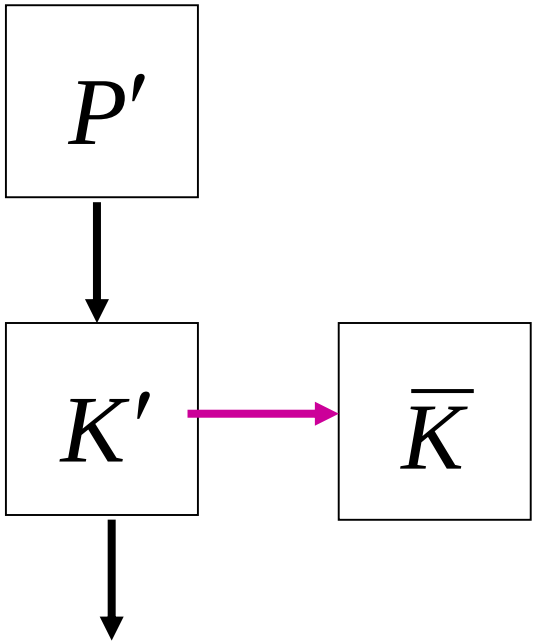
$$\frac{\partial u'}{\partial t} = -z\frac{\partial u'}{\partial x} - w' - \frac{\partial p'}{\partial x}, \qquad (1)''$$

$$\frac{\partial w'}{\partial t} = -z\frac{\partial w'}{\partial x} - \frac{\partial p'}{\partial z} + Rib', \qquad (3)''$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0, \qquad (4)''$$

$$\frac{\partial b'}{\partial t} = -z\frac{\partial b'}{\partial x} + w'. \qquad (5)''$$





・(1)からu’とw’の相関を想像することは難しいが，
直感的にセルはシアのある方向に傾くと思うべし．

→ $\overline{u'w'} > 0$

・K’の時間変化に寄与する二つの項のうち，
第2項は正であるが，第1項は負となる．
→　成長率がLモードに比べて小さくなる．

鉛直シア流があると、シア流方向のロール解（Lモード）が卓越する