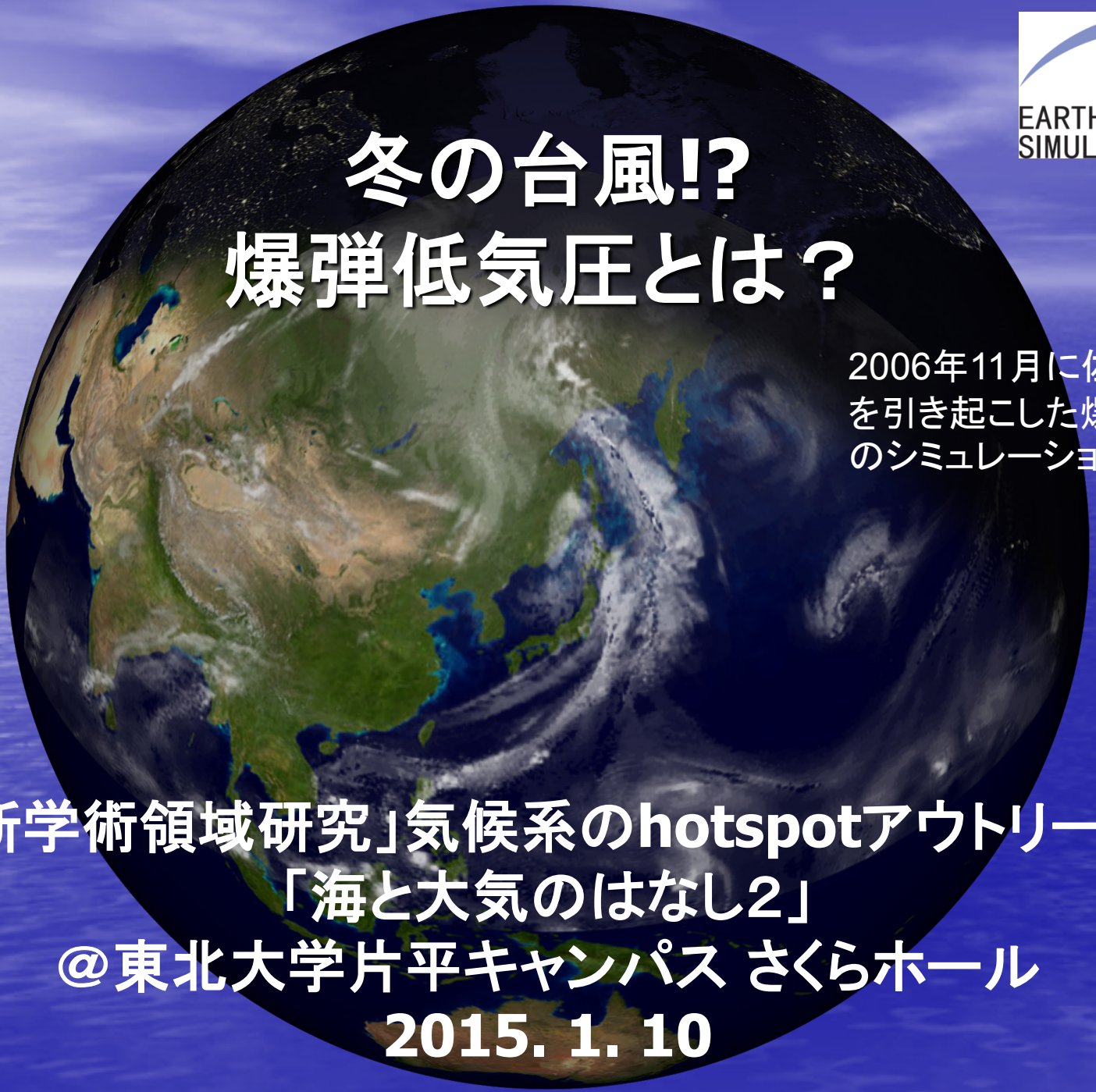
冬の台風!?
爆弾低気圧とは？



2006年11月に佐呂間竜巻を引き起こした爆弾低気圧のシミュレーション結果

「新学術領域研究」気候系のhotspotアウトリーチ
「海と大気のはなし2」
＠東北大学片平キャンパス さくらホール
2015. 1. 10

自己紹介

1994
北海道大学

1976.3
函館生まれ

2004.4～2014.3
海洋研究開発機構
地球シミュレータセンター
2014.4～
アプリケーションラボ

- 桑野（吉田） 聡
- Akira Kuwano-Yoshida
  - 北海道大学：日本付近の爆弾低気圧の気候と内部構造および発達メカニズムの研究
  - 海洋研究開発機構: 全球大気海洋結合モデルの開発とそれを用いた中緯度大気海洋相互作用の研究

異例の降雪に対する国土交通省対策本部　平成26年12月31日　緊急発表

【国民への呼びかけ】

○ 31日から1日にかけては、東北地方から西日本の沿岸部を中心に非常に強い風が吹き、日本海側では猛ふぶき、海上は大しけとなる見込みです。その後、1日から3日頃にかけては、北日本から西日本の日本海側を中心に大雪や猛ふぶきとなるおそれがあります。西日本の太平洋側や東海地方の平地でも積雪となる所がある見込みです。

○ 暴風雪による吹きだまりや局地的な大雪により、道路において、視界不良による走行不能、積雪等による立ち往生が発生するおそれがあります。なだれや屋根等からの落雪、路面の凍結、着雪による停電や倒木にも注意が必要です。

○ 過去の類似の気象条件では、平成22年12月31日から平成23年1月1日の大雪により、鳥取県の国道9号において、タンクローリーの立ち往生をきっかけに、約1,000台の車輌が立ち往生し身動きがとれなくなっています。

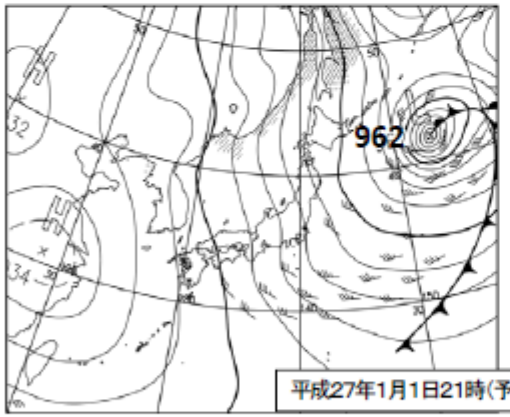
○ 普段雪が降らない地域においても、突然の大雪による立ち往生等に警戒が必要です。

○ 不要不急の外出は避けていただくとともに、やむを得ず運転する場合には、冬用タイヤやチェーン等を早めに装着して下さい。

【1. 今後の気象の見通し】

平成27年1月3日頃にかけての暴風雪と大雪

【気圧配置】



【気象概況】

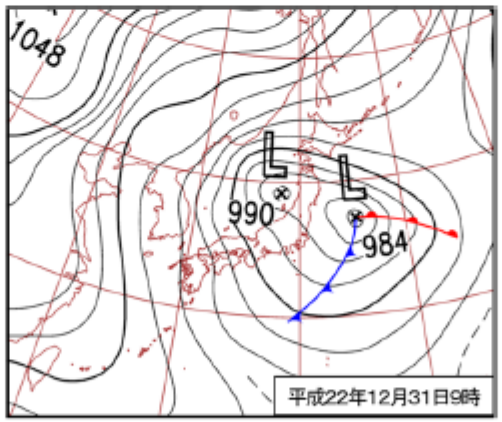
○31日は低気圧が日本海で急速に発達しながら東へ進み、その後、1月1日から3日頃にかけて、日本の上空に強い寒気が流れ込み、日本付近は強い冬型の気圧配置となる見込み。

○この影響により、31日から1日にかけて、東北地方から西日本の沿岸部を中心に非常に強い風が吹き、日本海側では猛ふぶき、海は大しけとなる見込み。その後、1日から3日頃にかけて、北日本から西日本の日本海側を中心に大雪や猛ふぶきとなり、西日本の太平洋側や東海地方の平地でも雪雲が流れ込み、積雪となる所がある見込み。

【2. 類似の気象条件における被災事例】

平成22年12月31日から平成23年1月1日にかけての大雪

【気圧配置】



【気象概況】

○平成22年12月31日は、日本海中部と関東の東海上の低気圧が北東に進み、平成23年1月1日にかけて、日本付近は強い冬型の気圧配置となった。

○この影響で、山陰から北日本にかけての日本海側を中心に大雪となった。

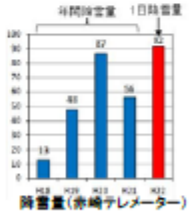
＜大雪のため、大規模な立ち往生が発生　約1，000台＞

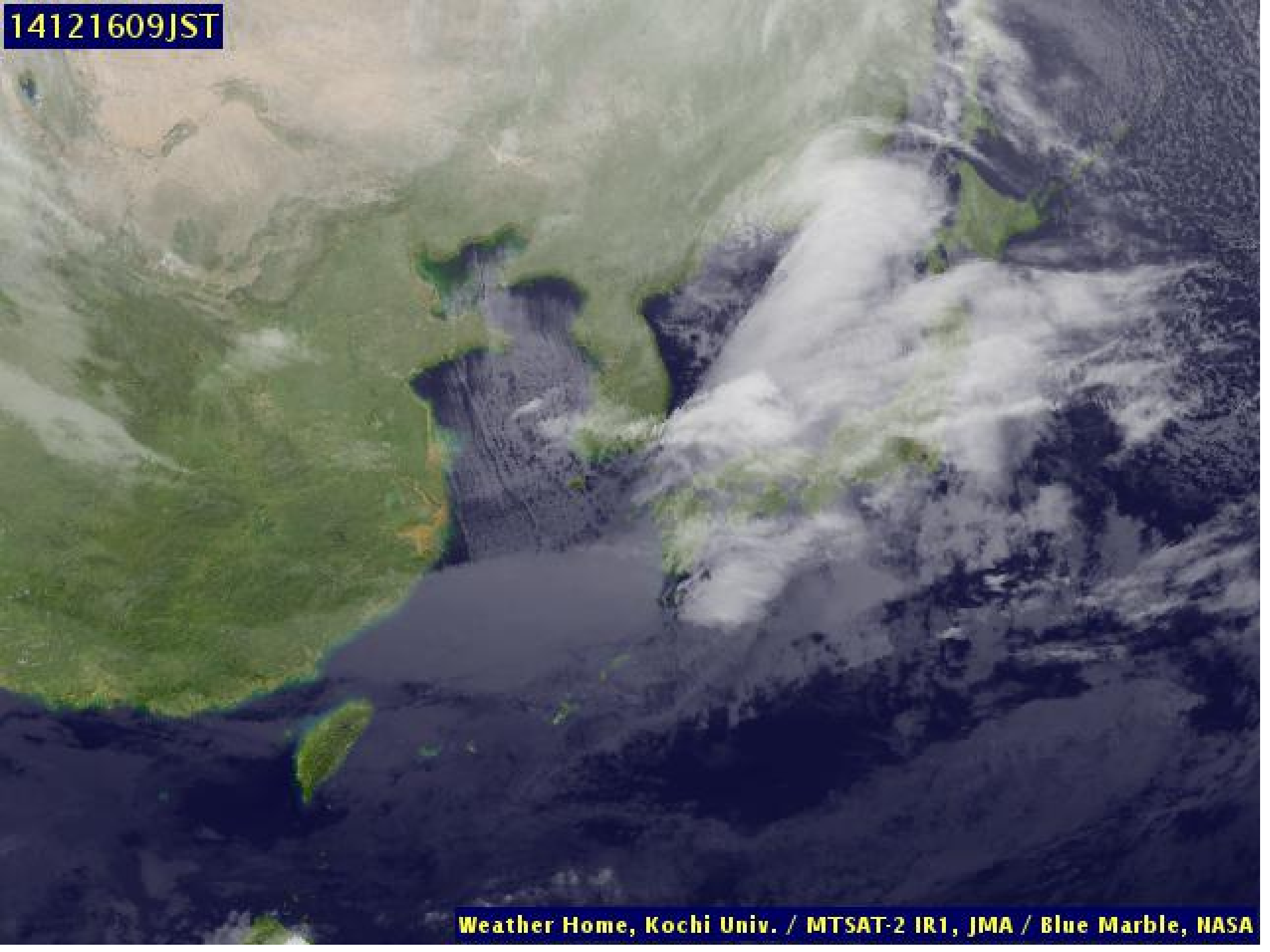
○平成22年12月31日から平成23年1月1日にかけて、北日本から西日本の広い範囲で降雪、山陰地方でも、鳥取県で1日の降雪量が年間の降雪量を上回る90cm近くの大雪となった。

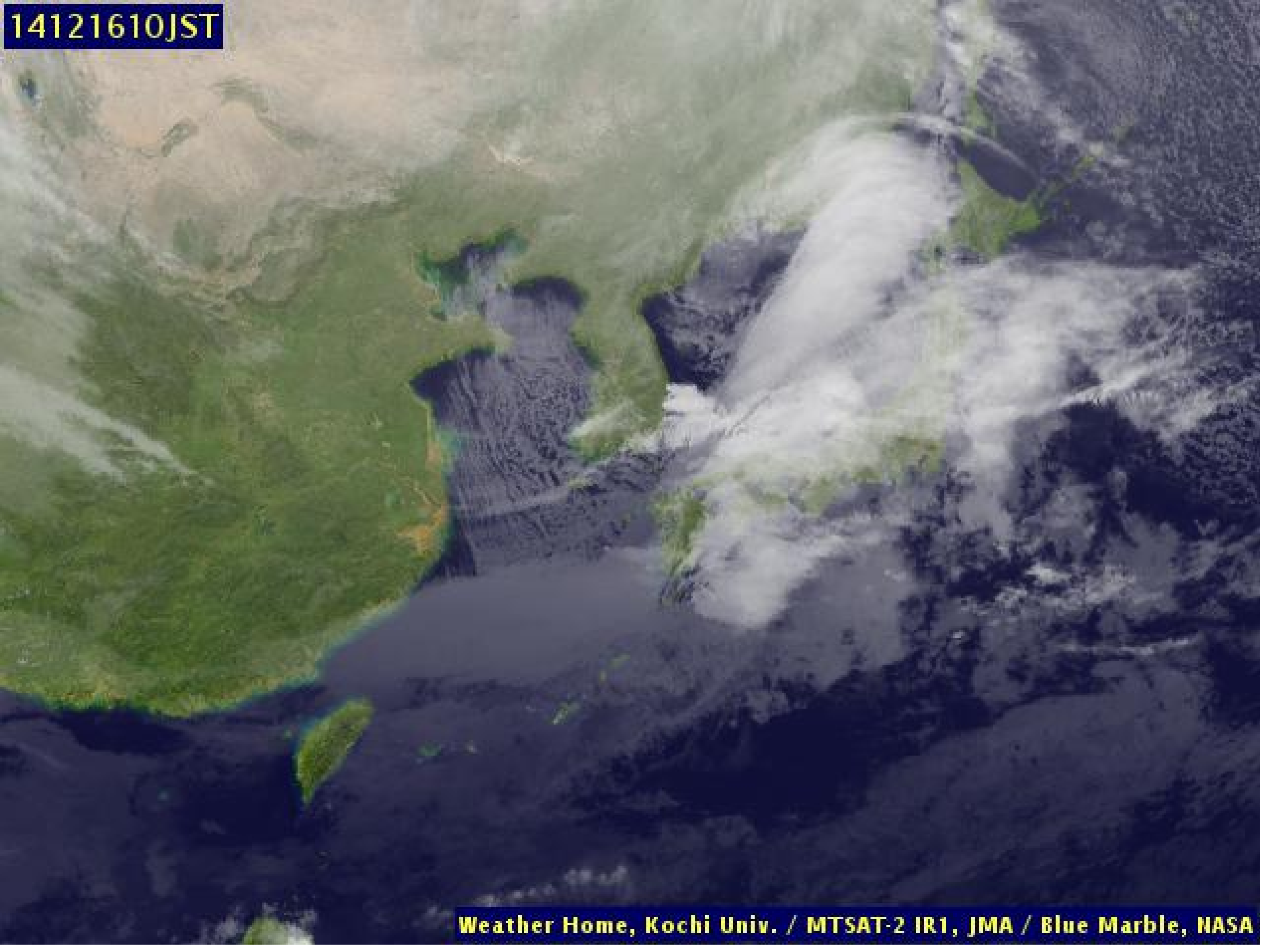
○国道9号でタンクローリーの立ち往生をきっかけに、約1,000台の大規模な立ち往生が発生。

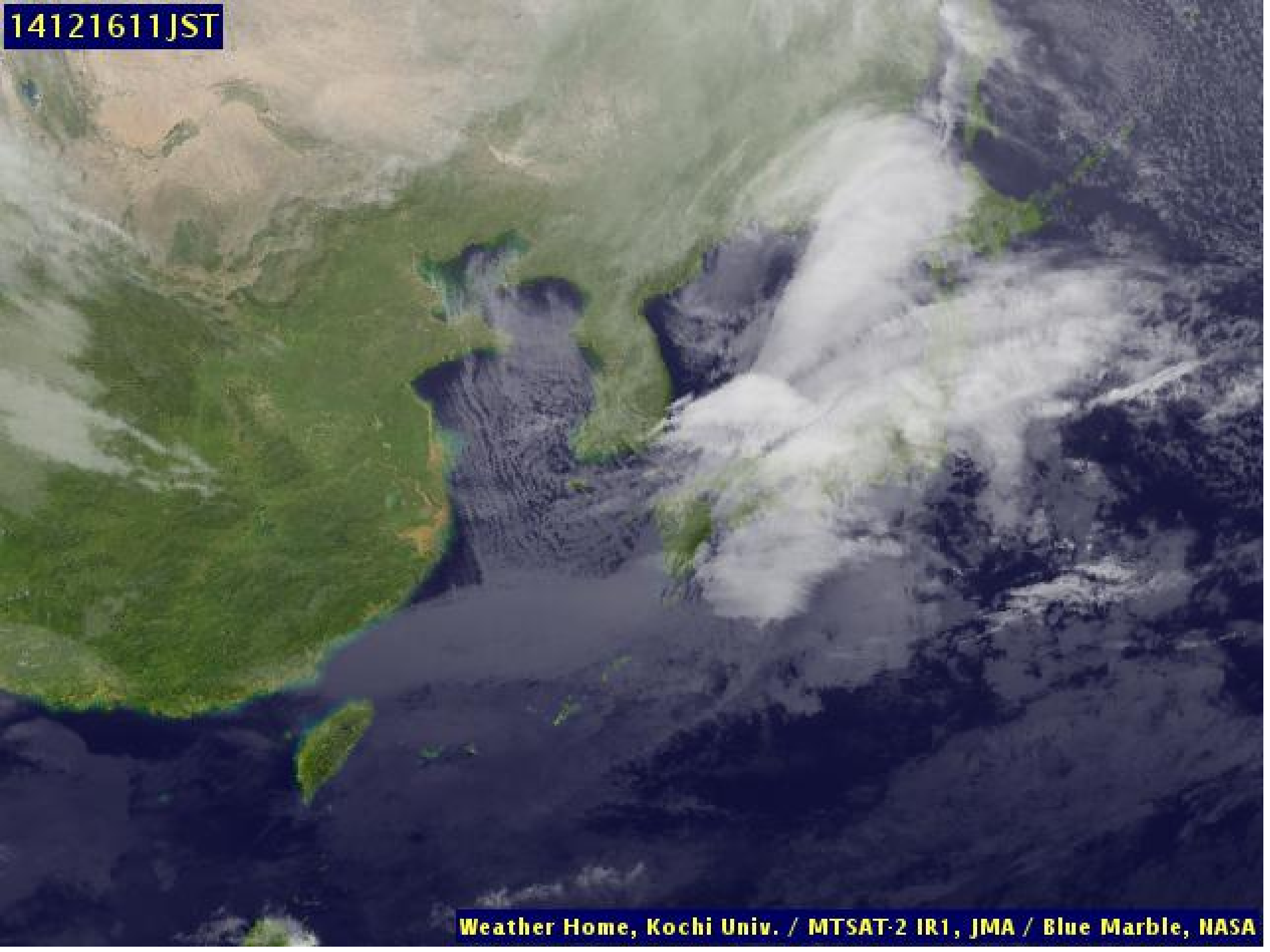
○車両の移動および通行止め解除に約2日を要した。

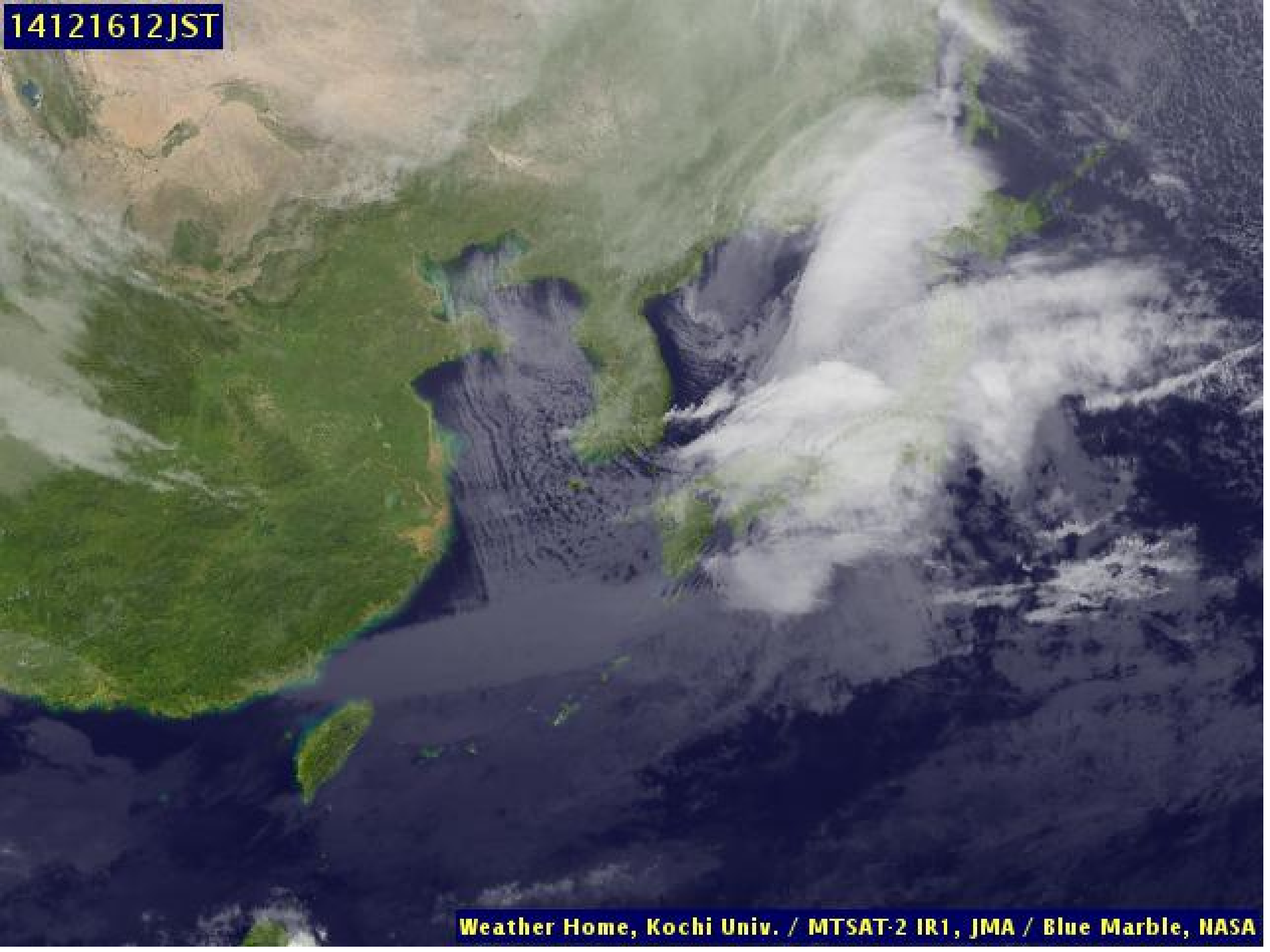
立ち往生の状況

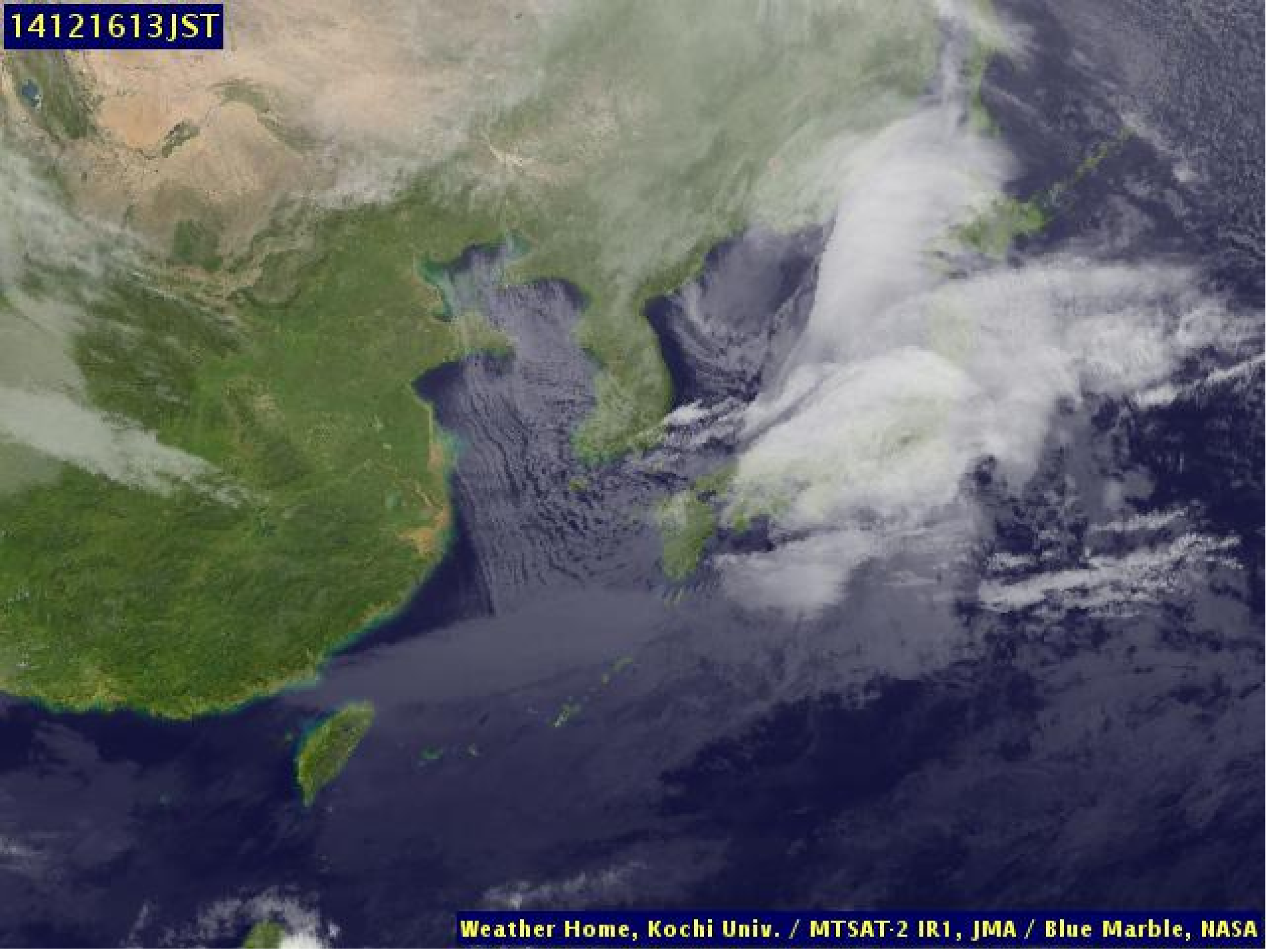


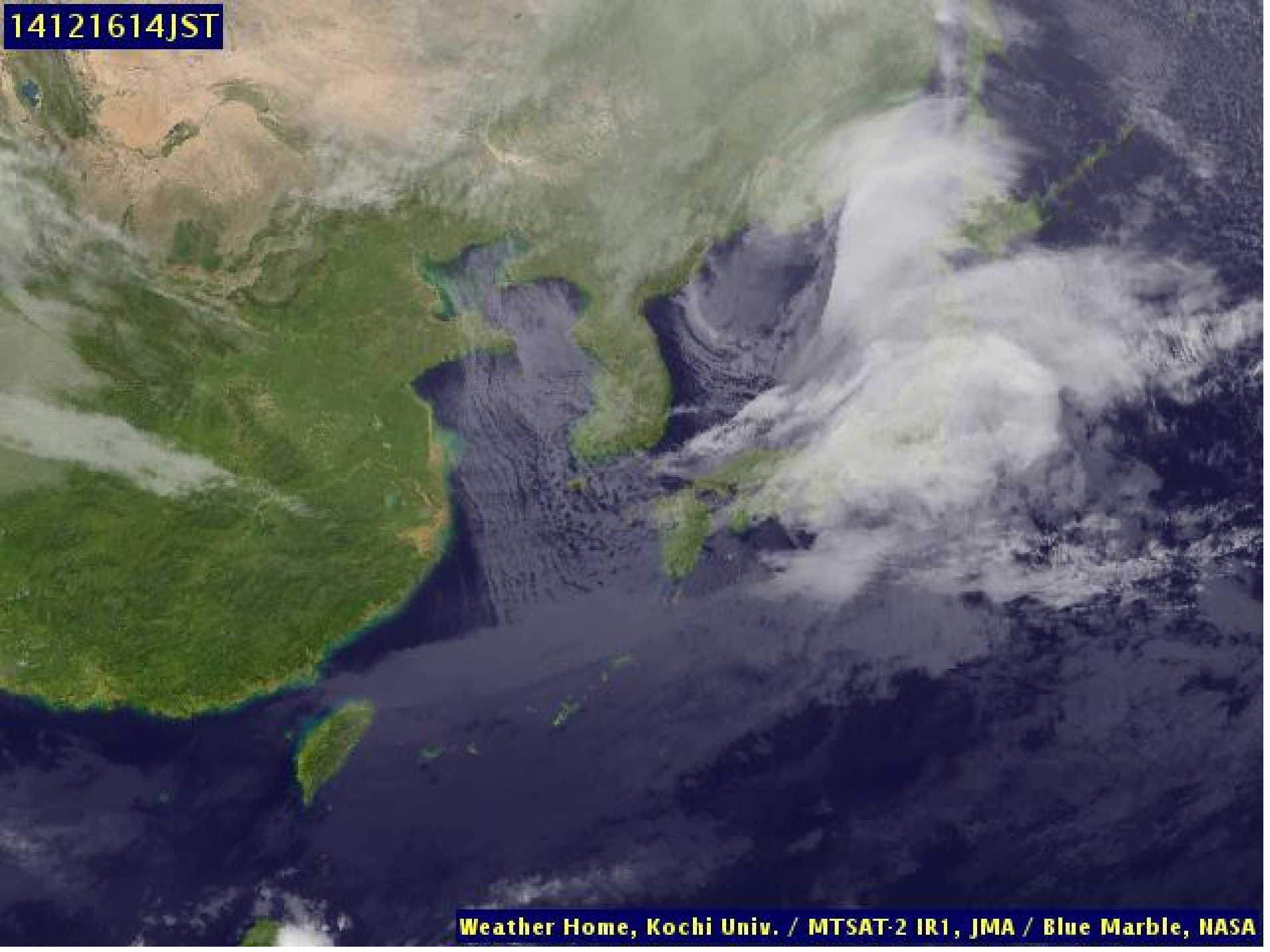

14121609JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

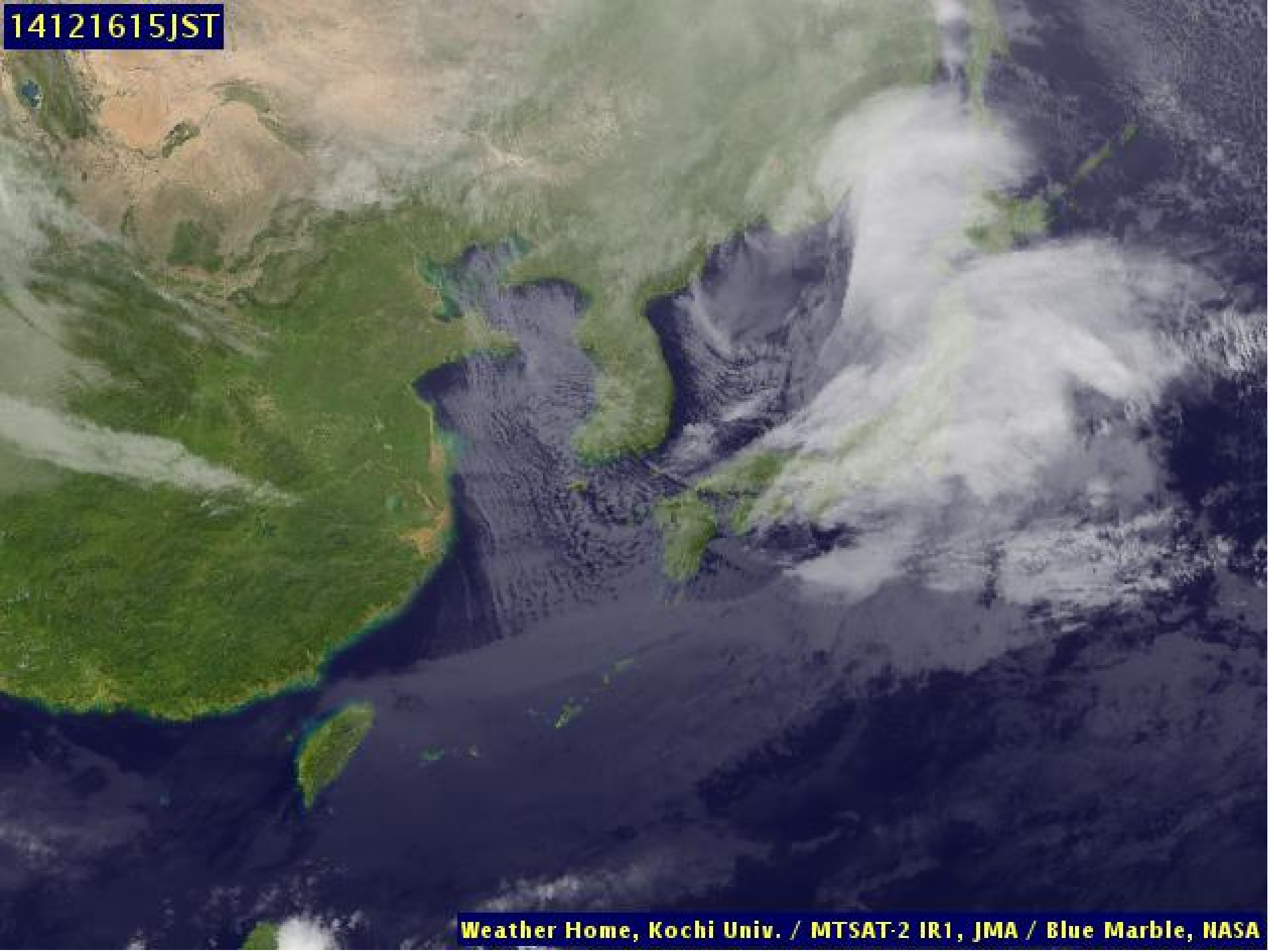

14121610JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

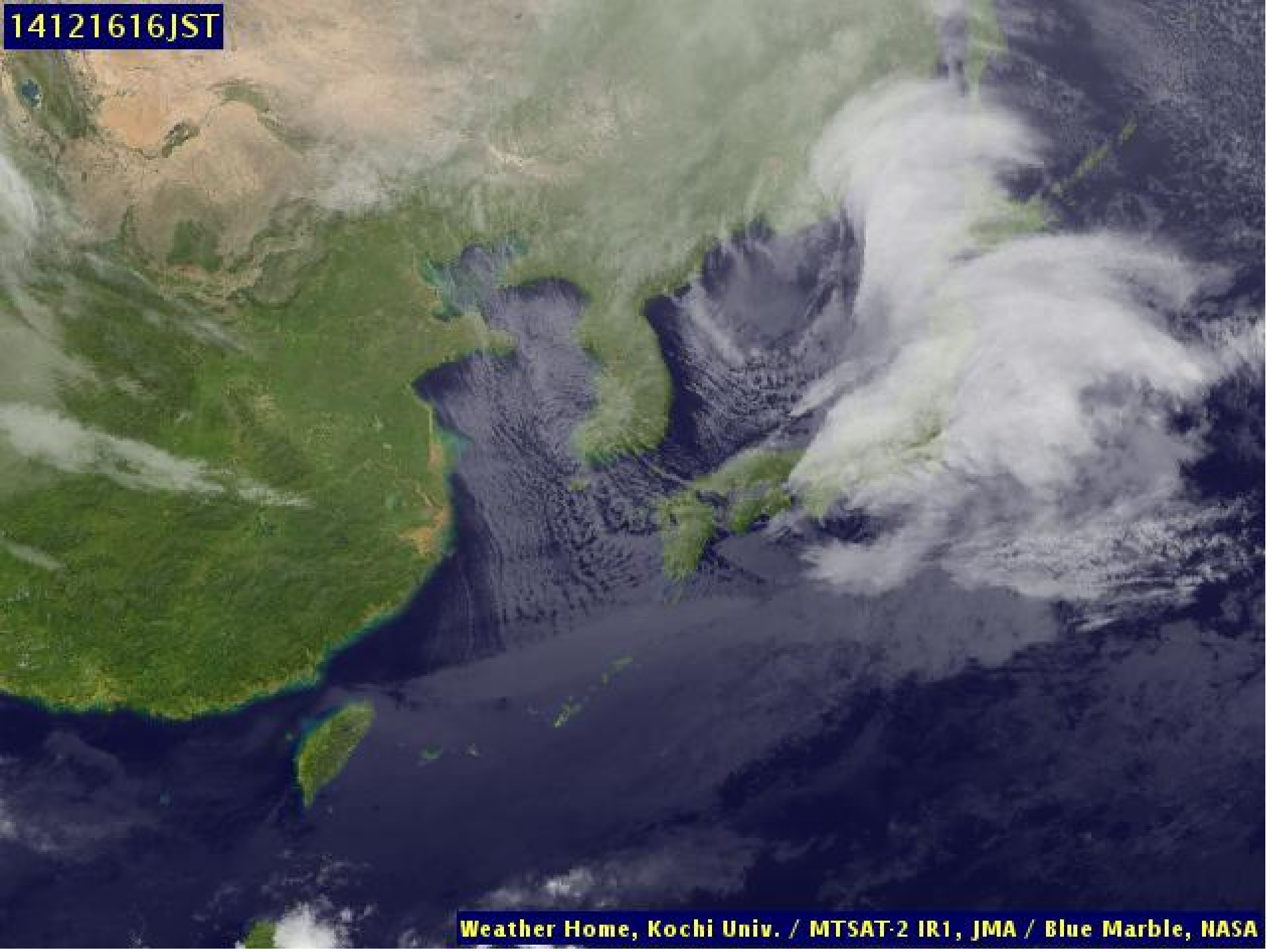

14121611JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

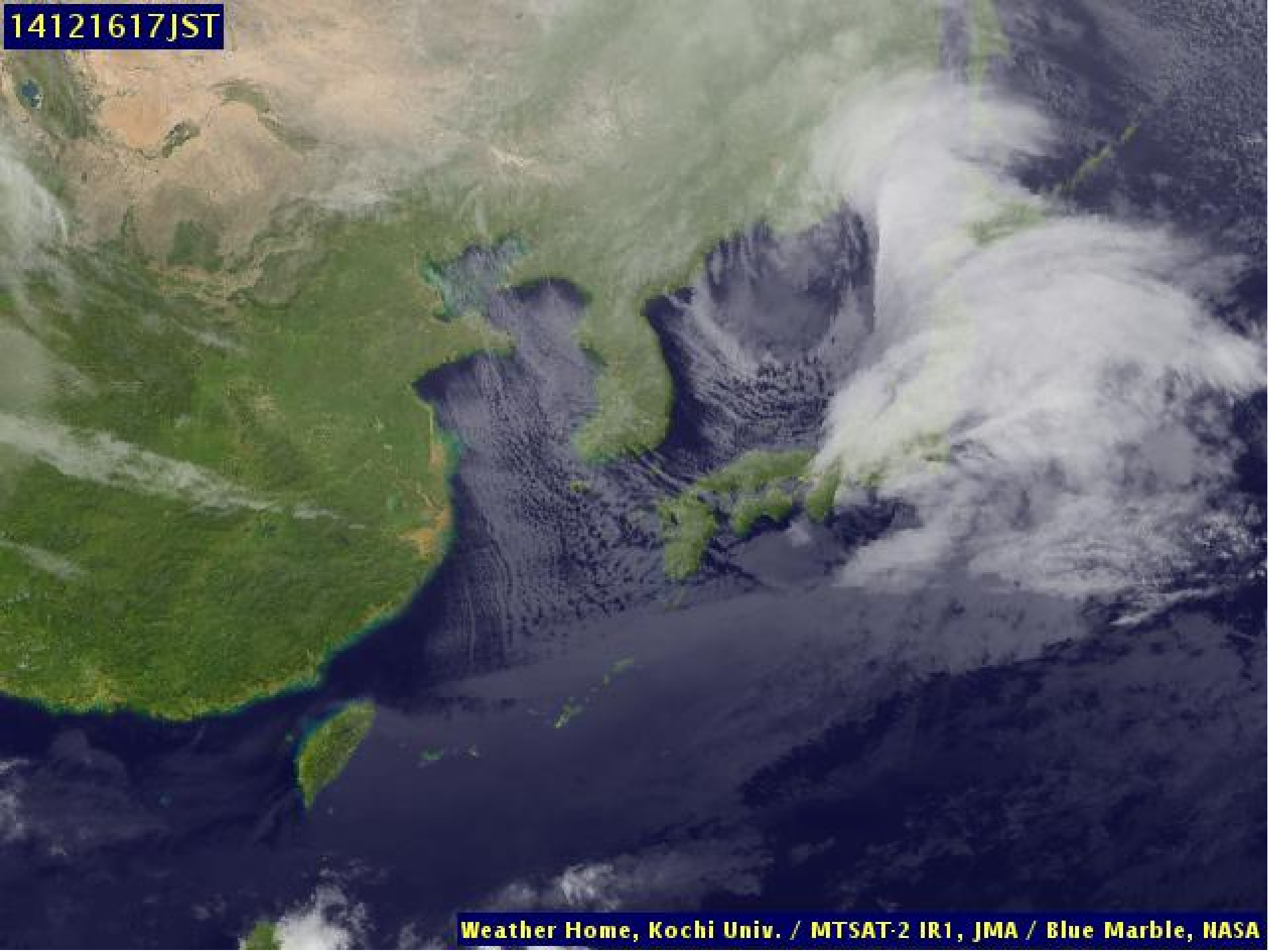

14121612JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

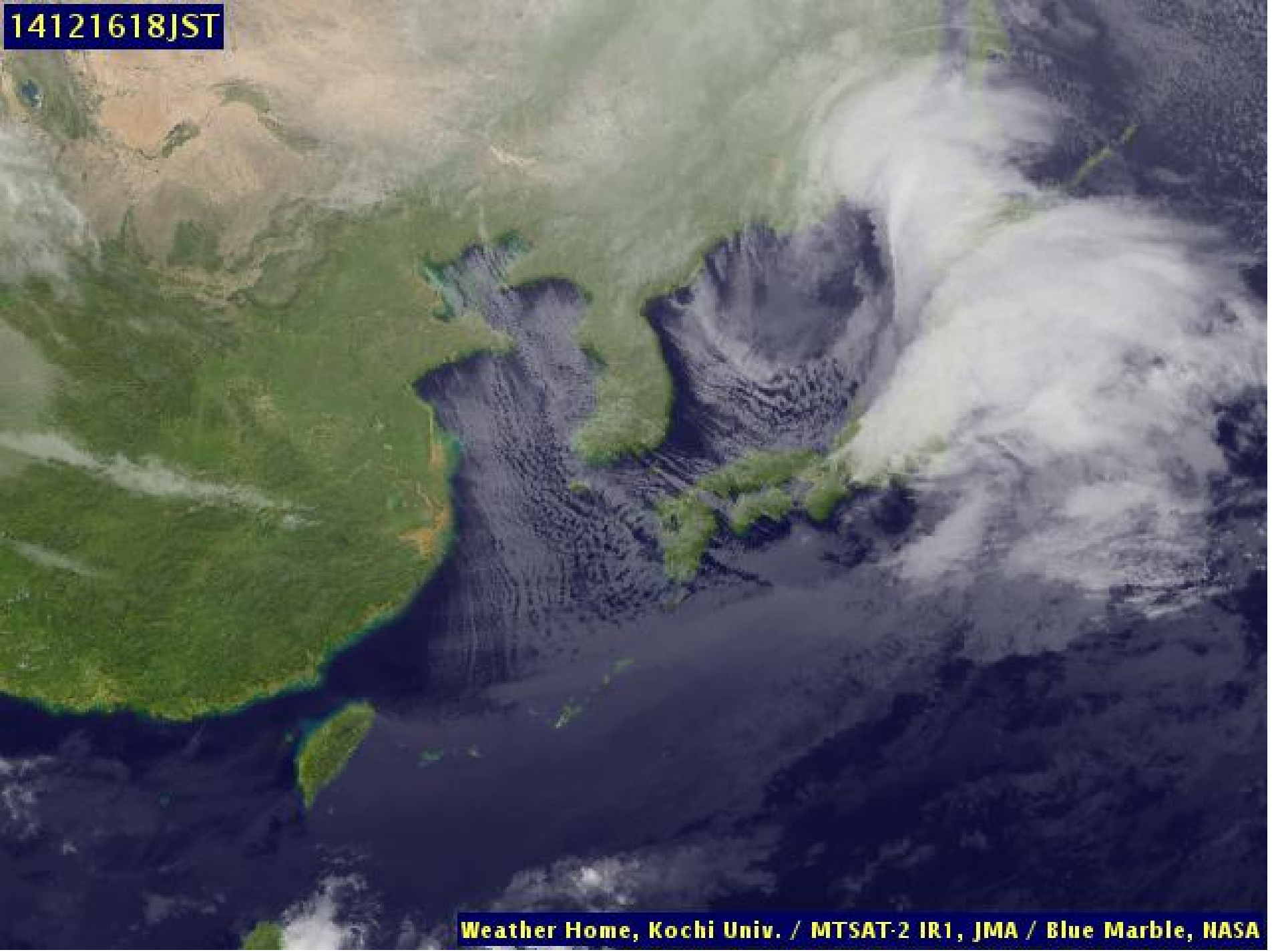

14121613JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

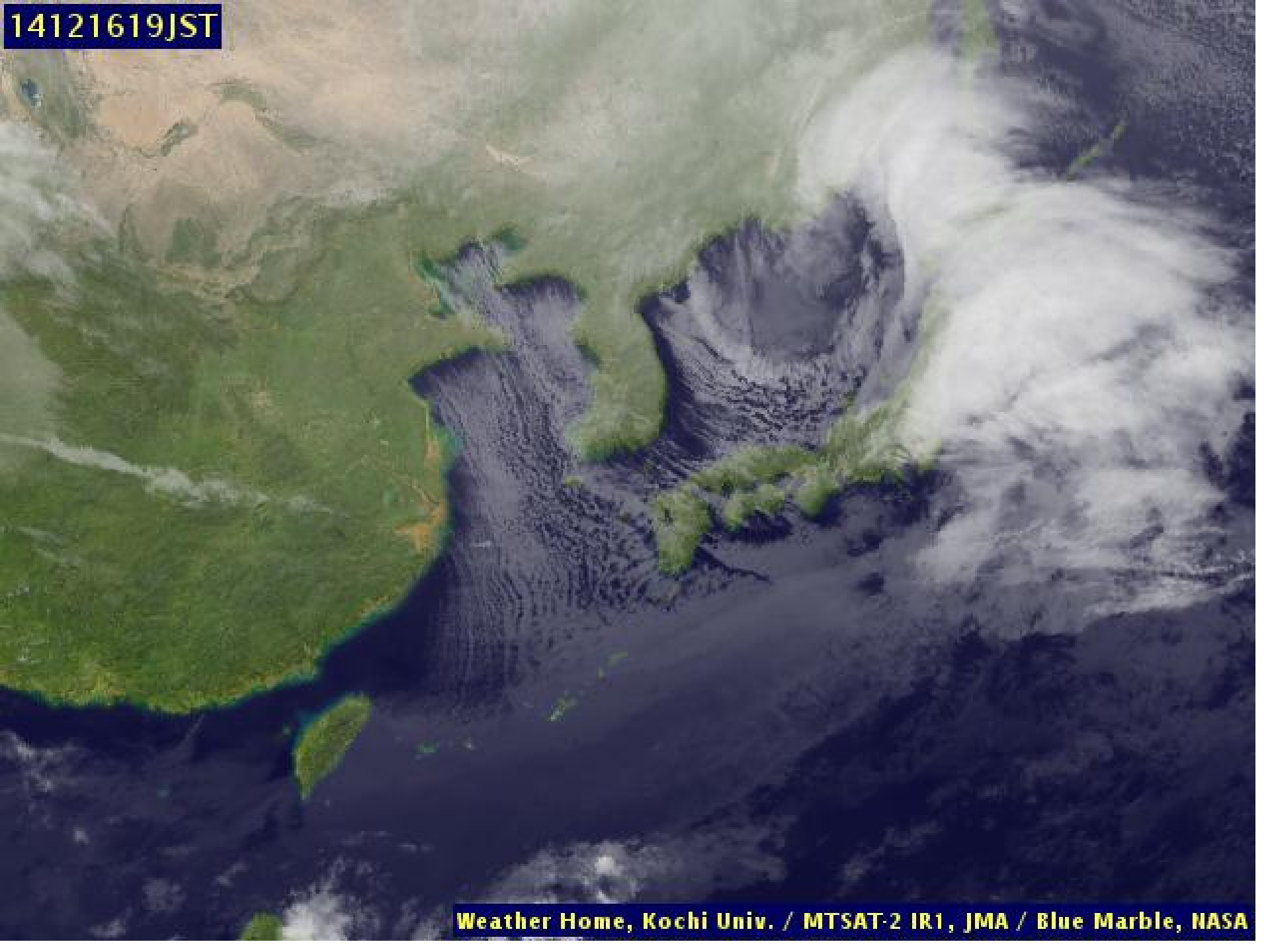

14121614JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

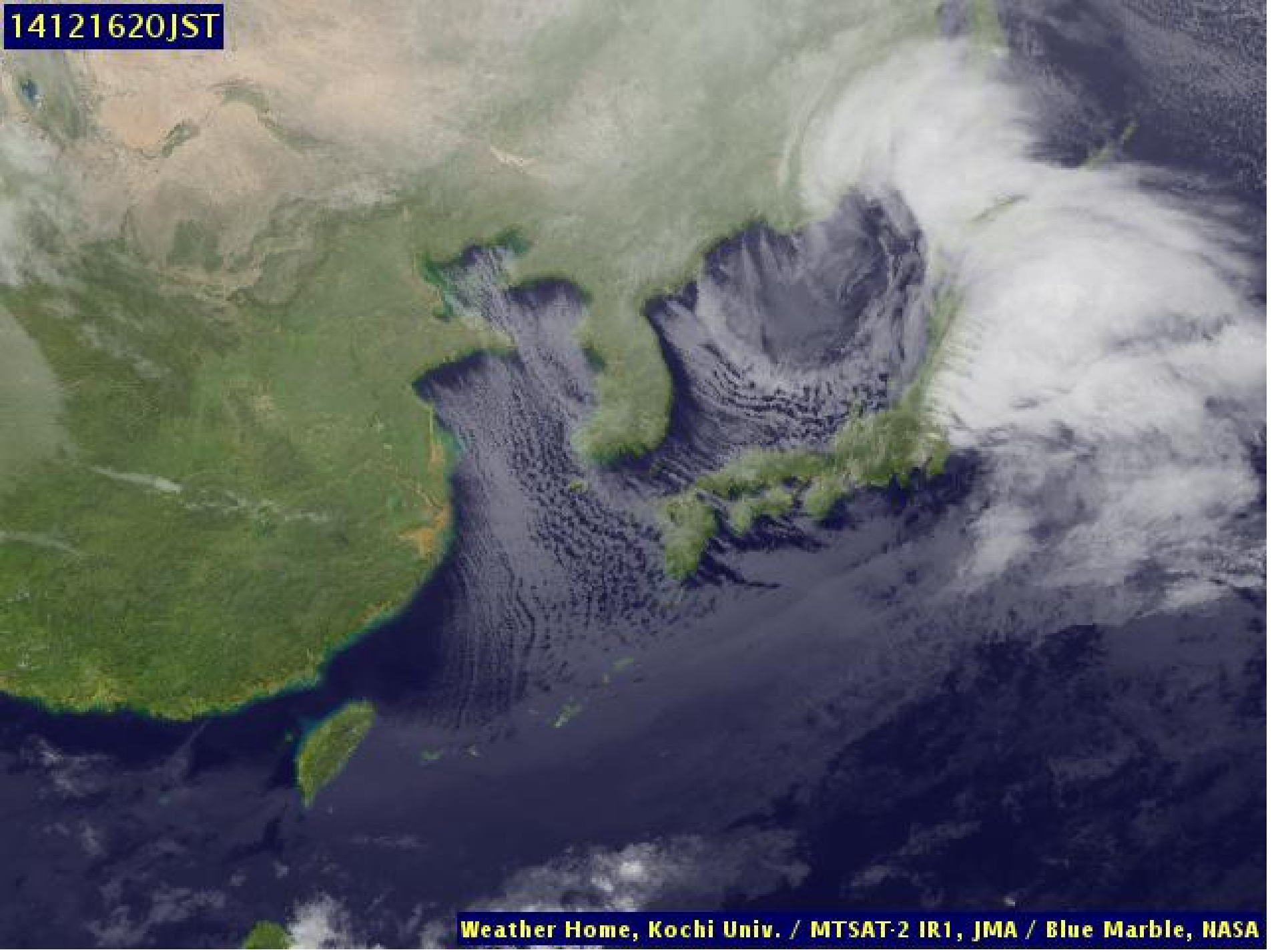

14121615JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

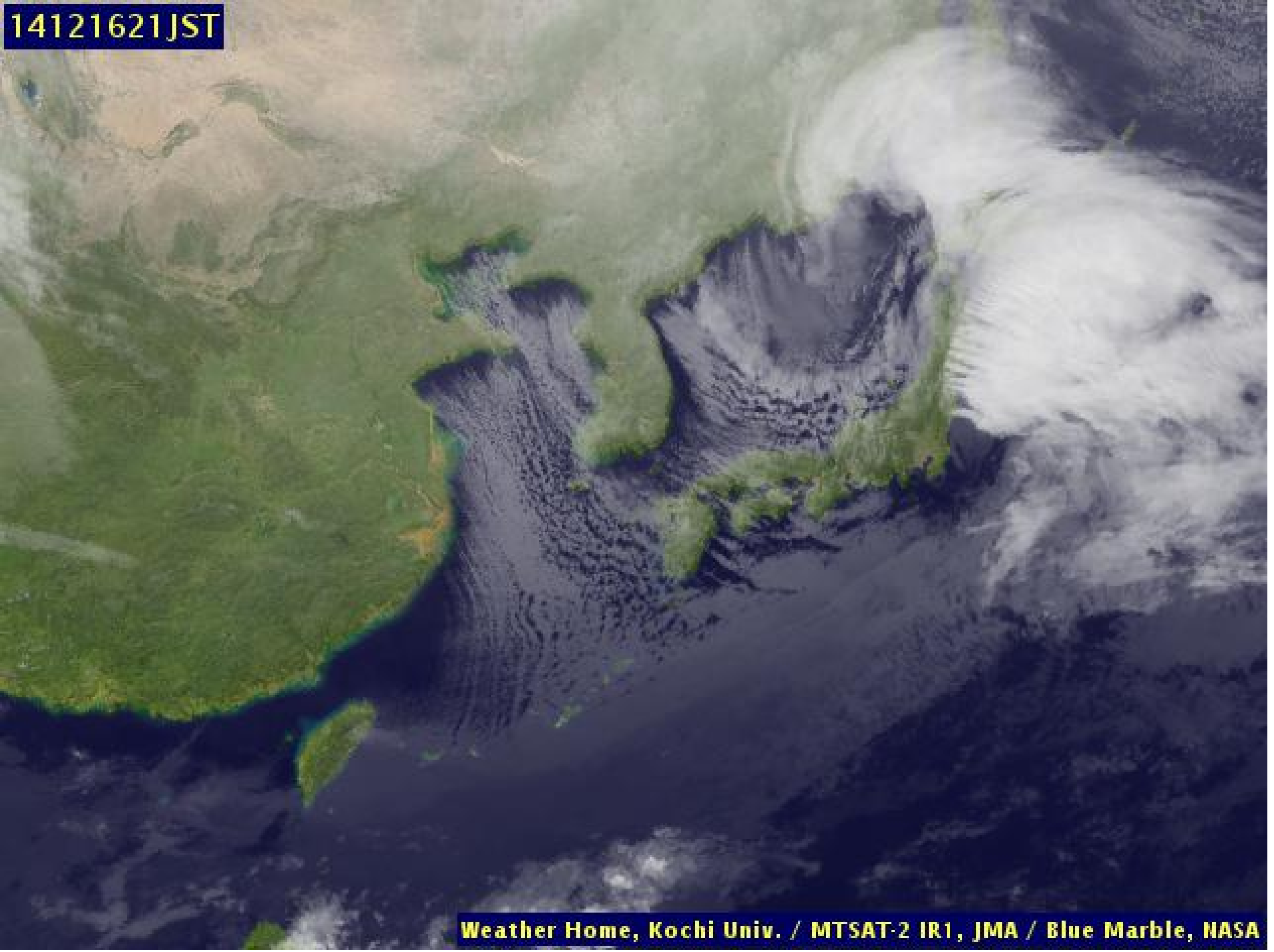

14121616JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

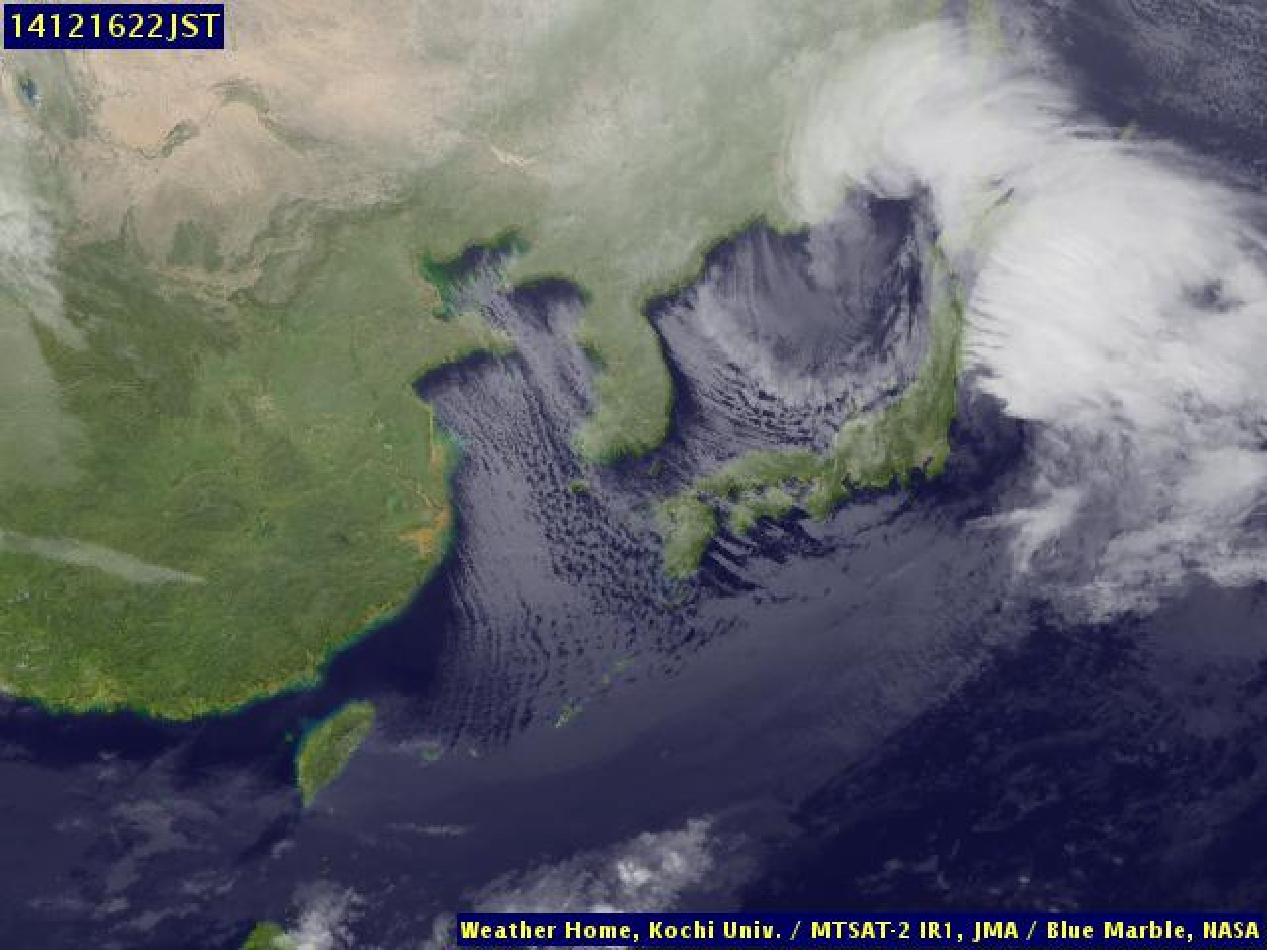

14121617JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

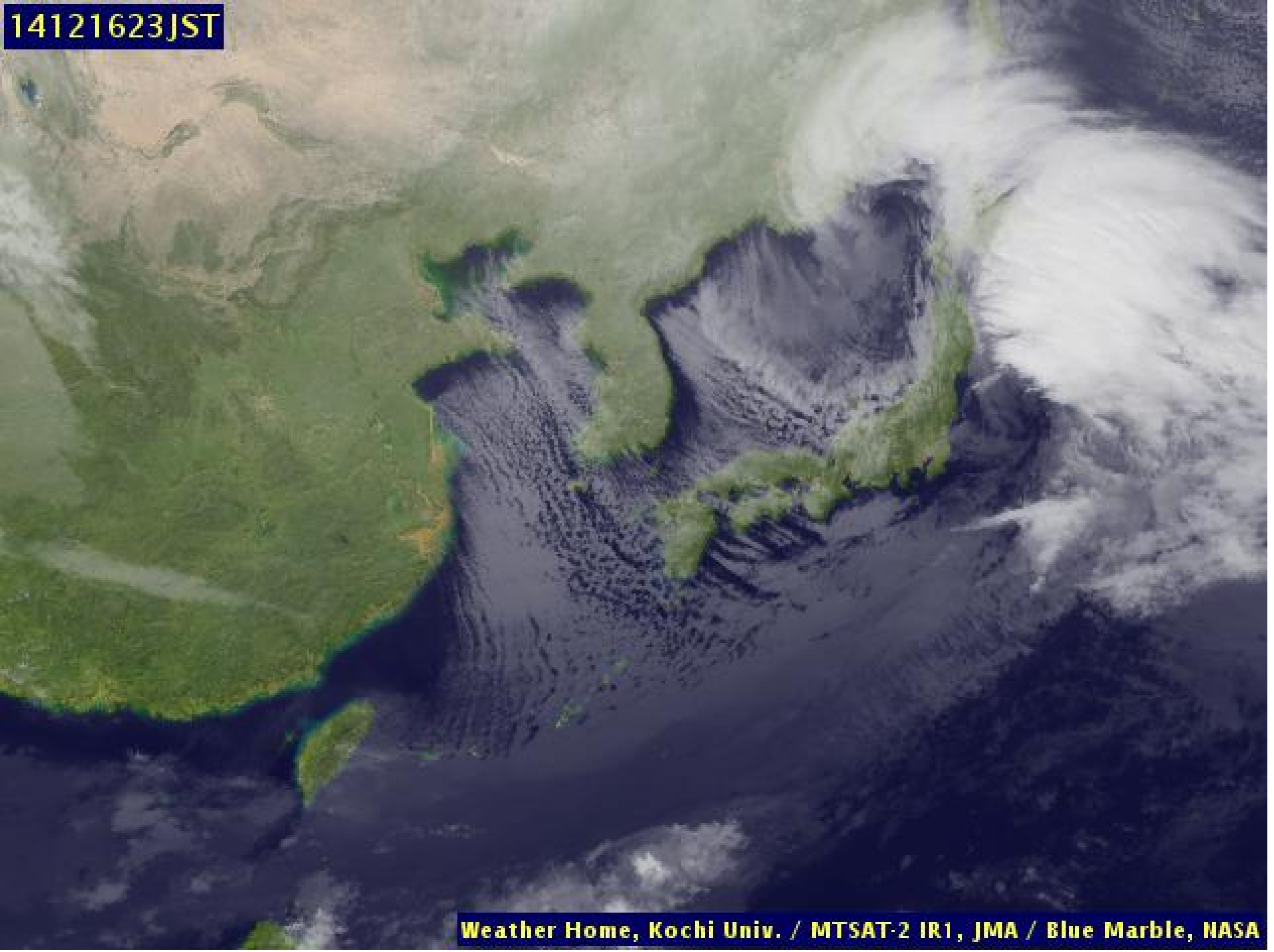

14121618JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

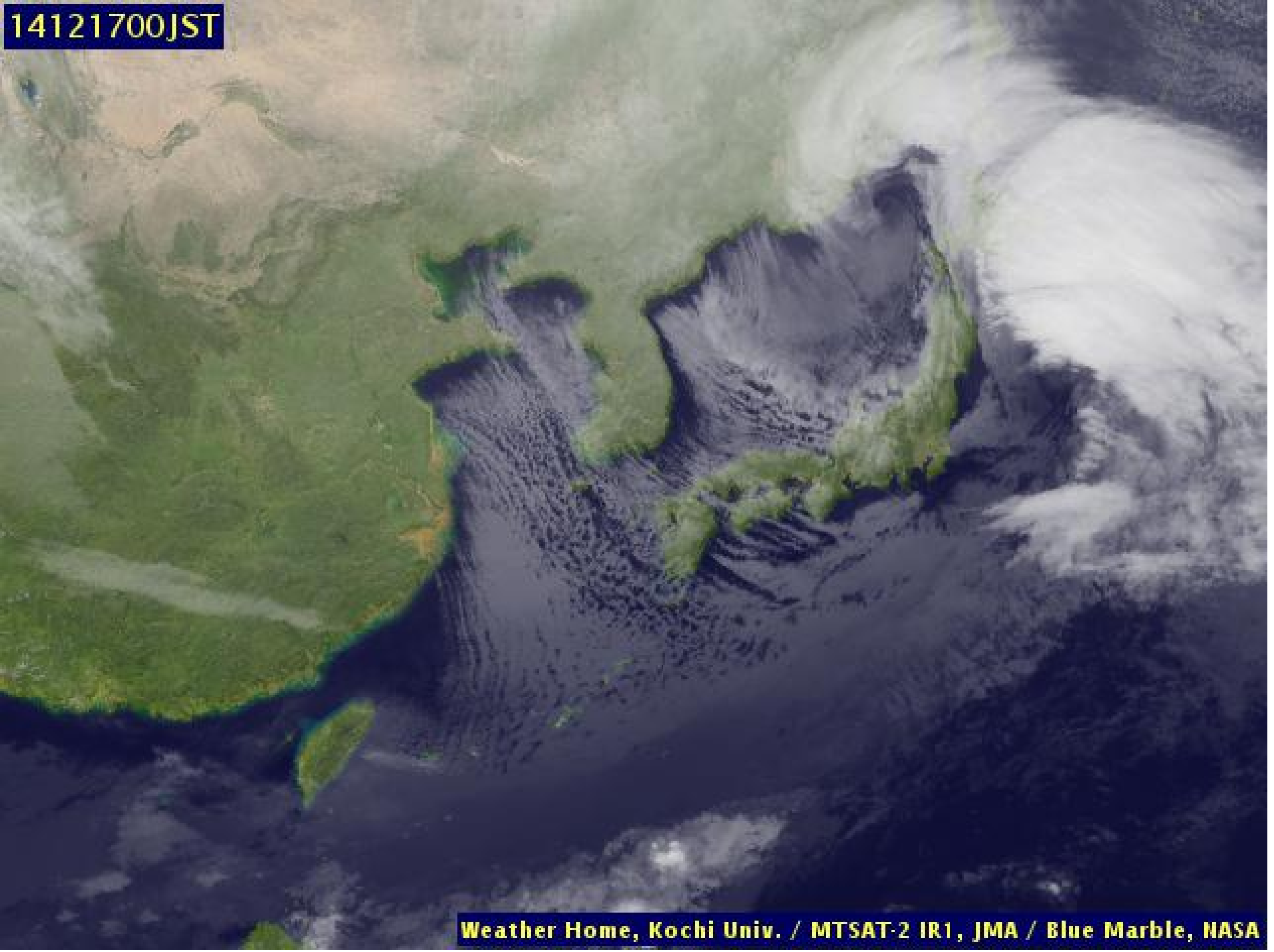

14121619JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

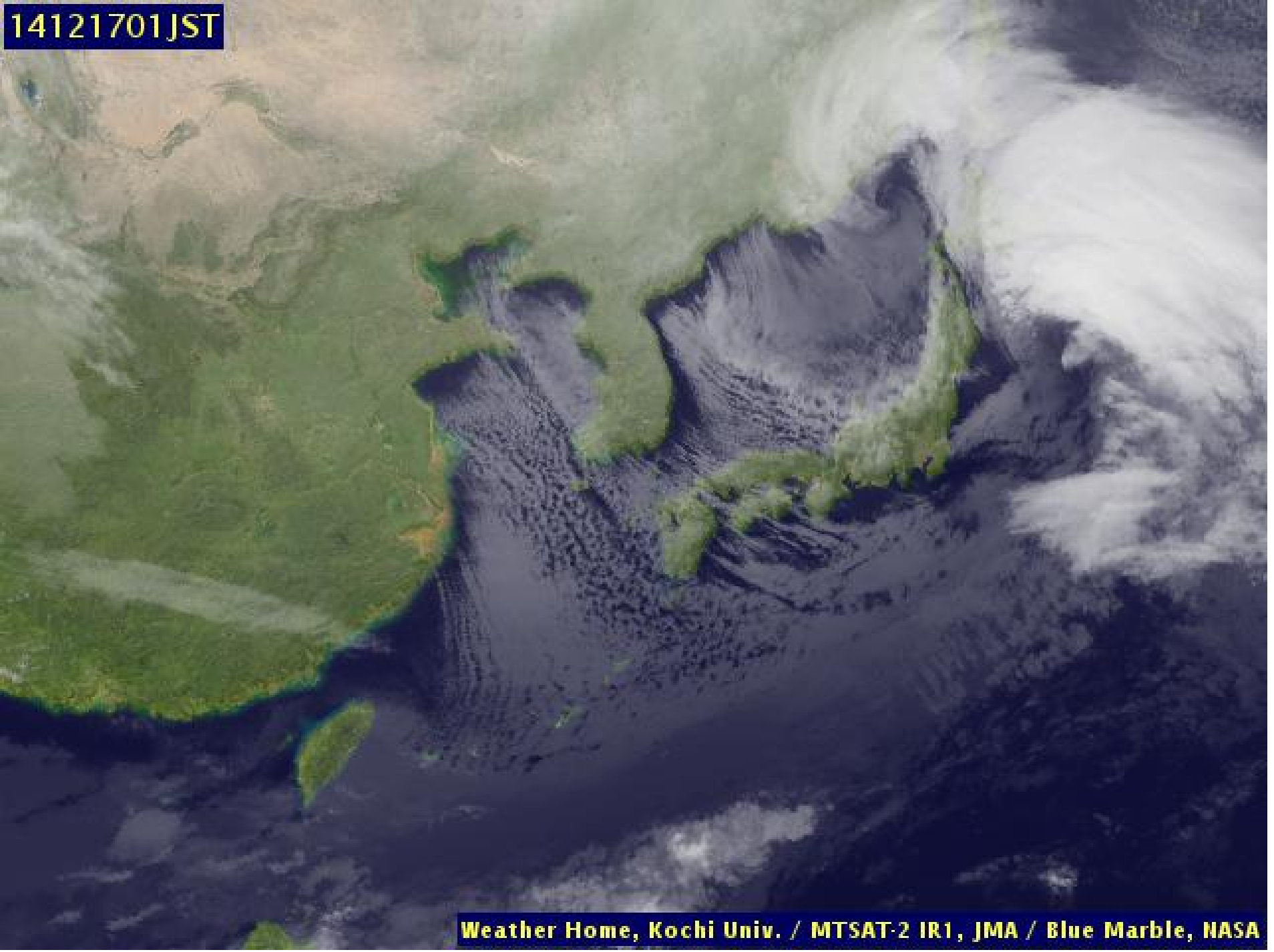

14121620JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

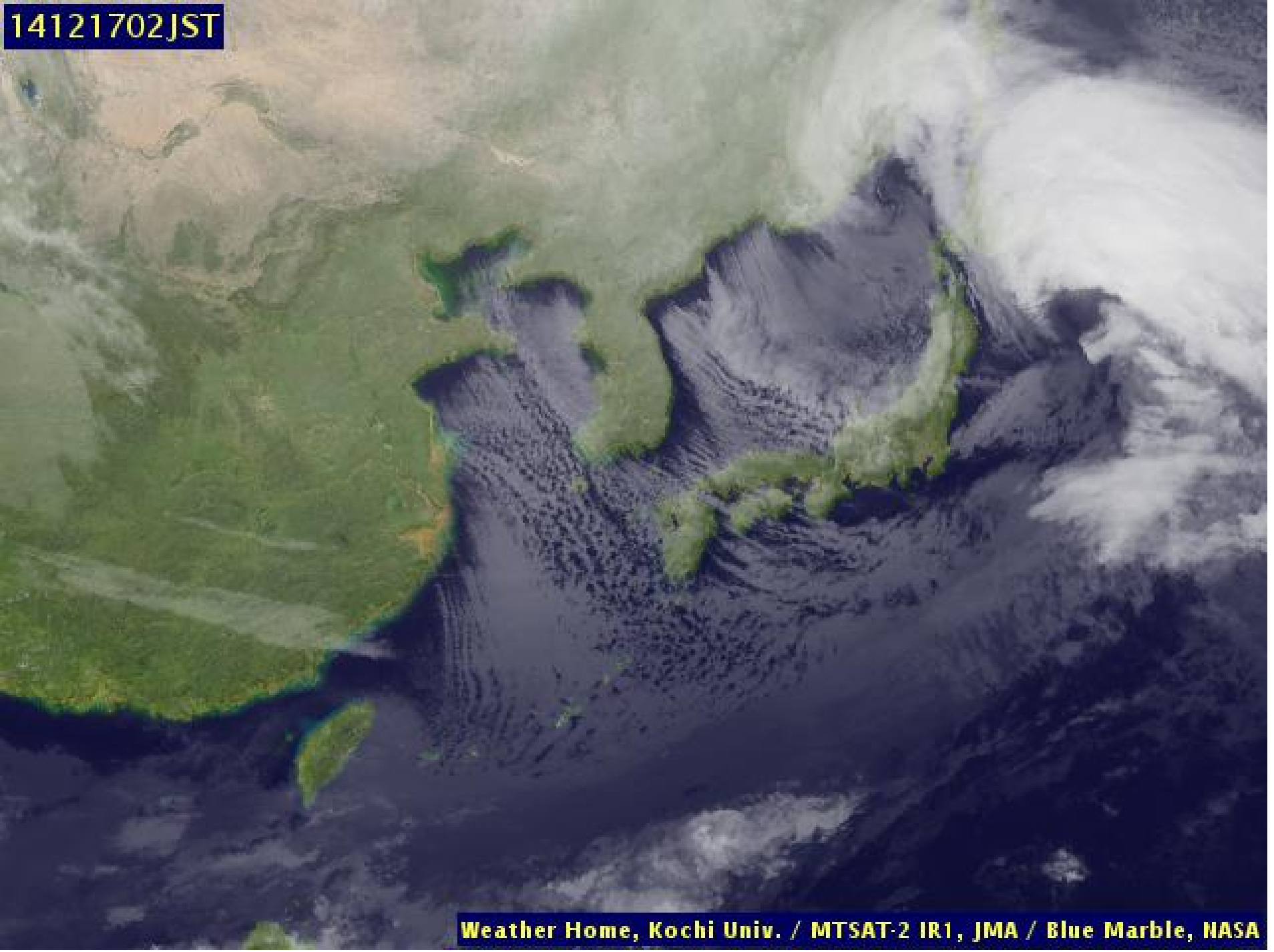

14121621JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

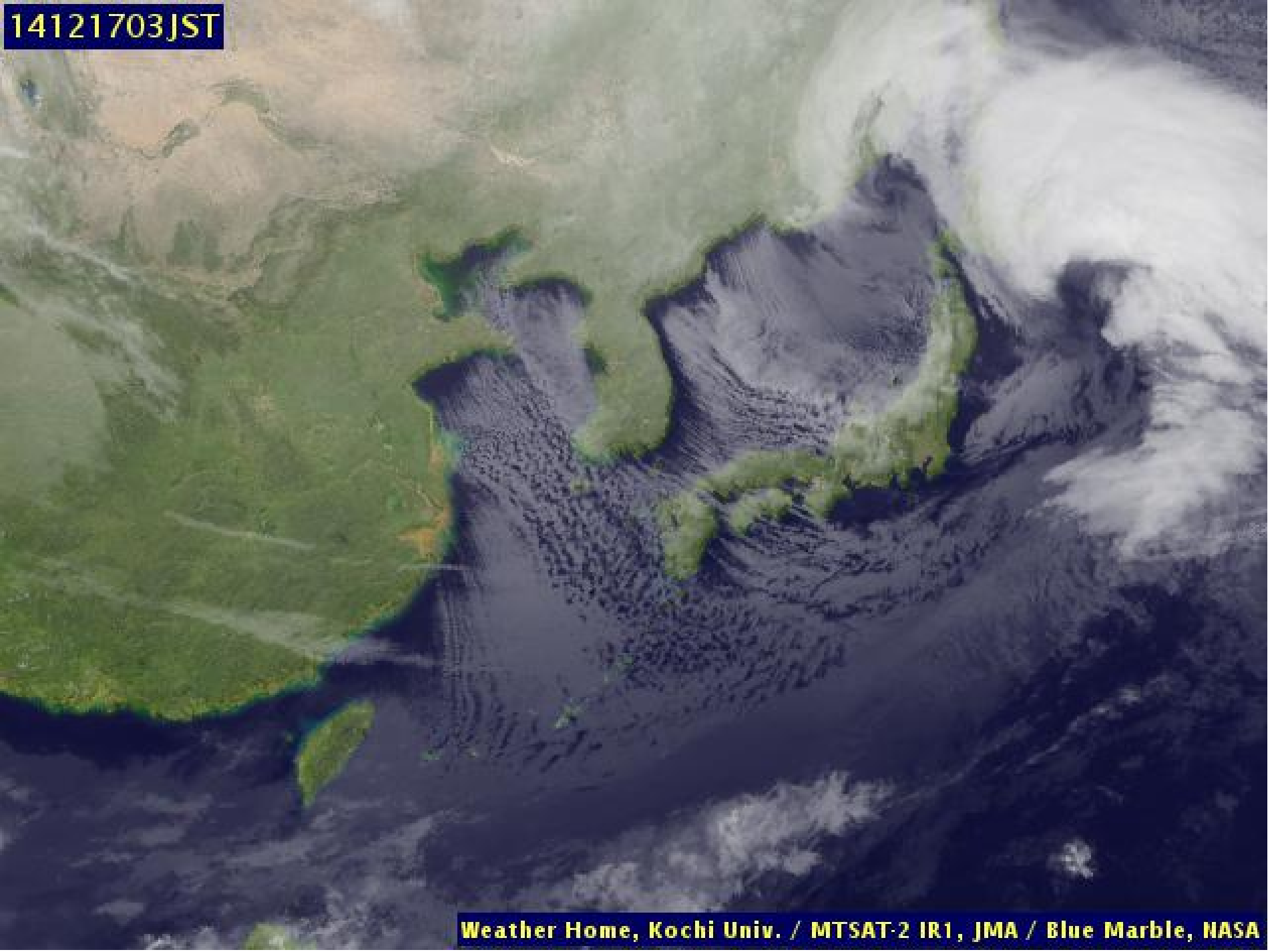

14121622JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

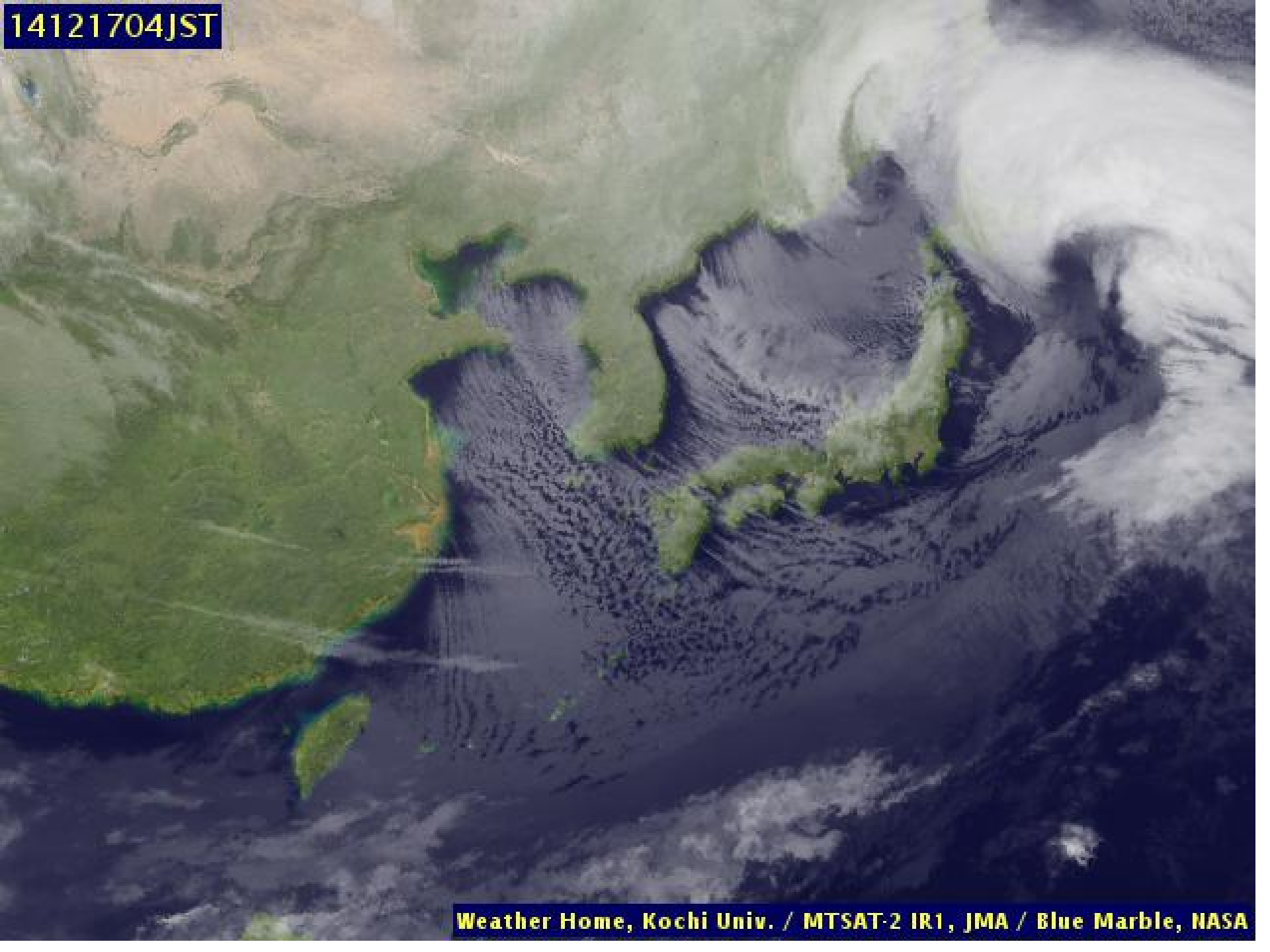

14121623JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

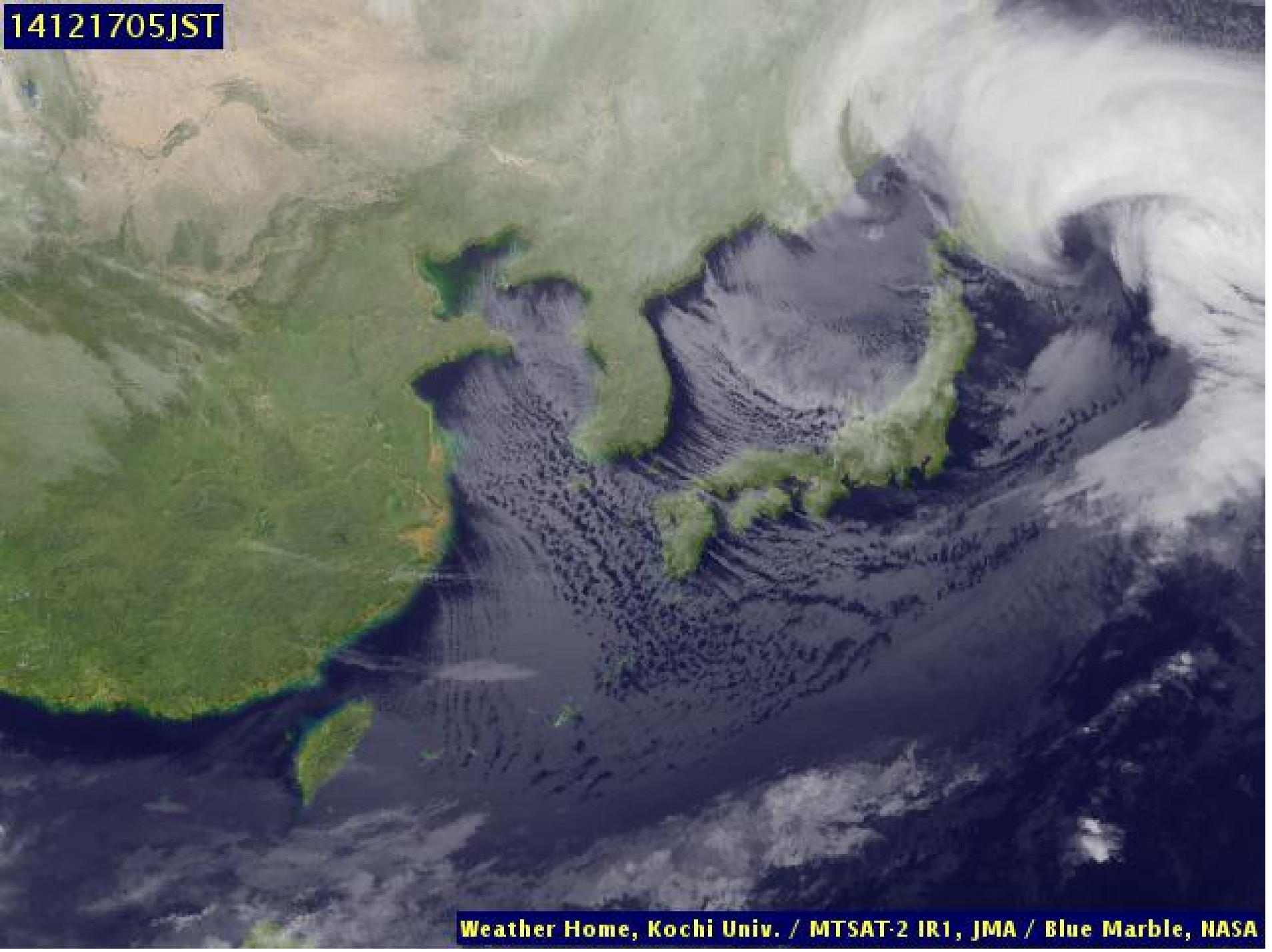

14121700JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

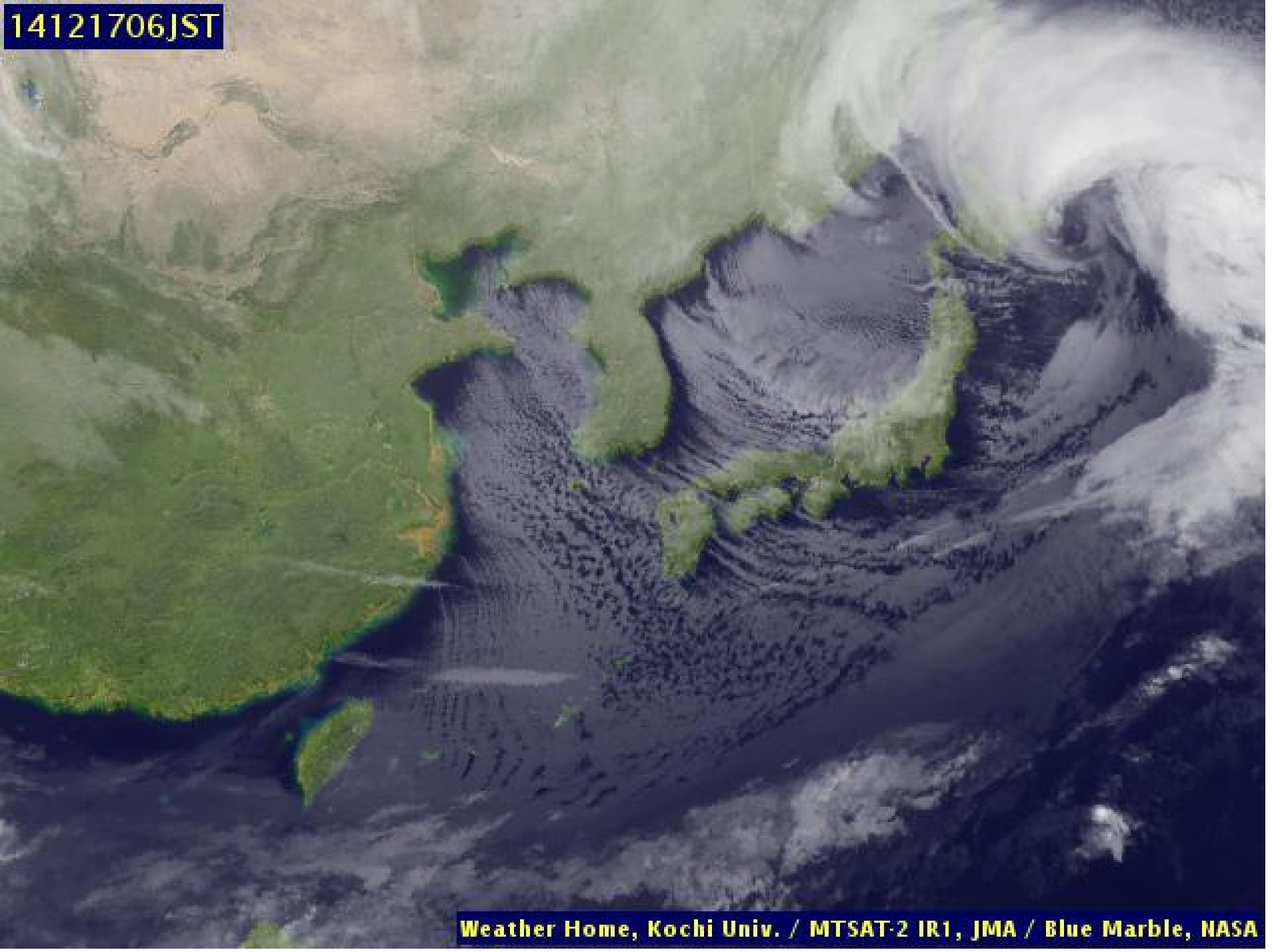

14121701JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

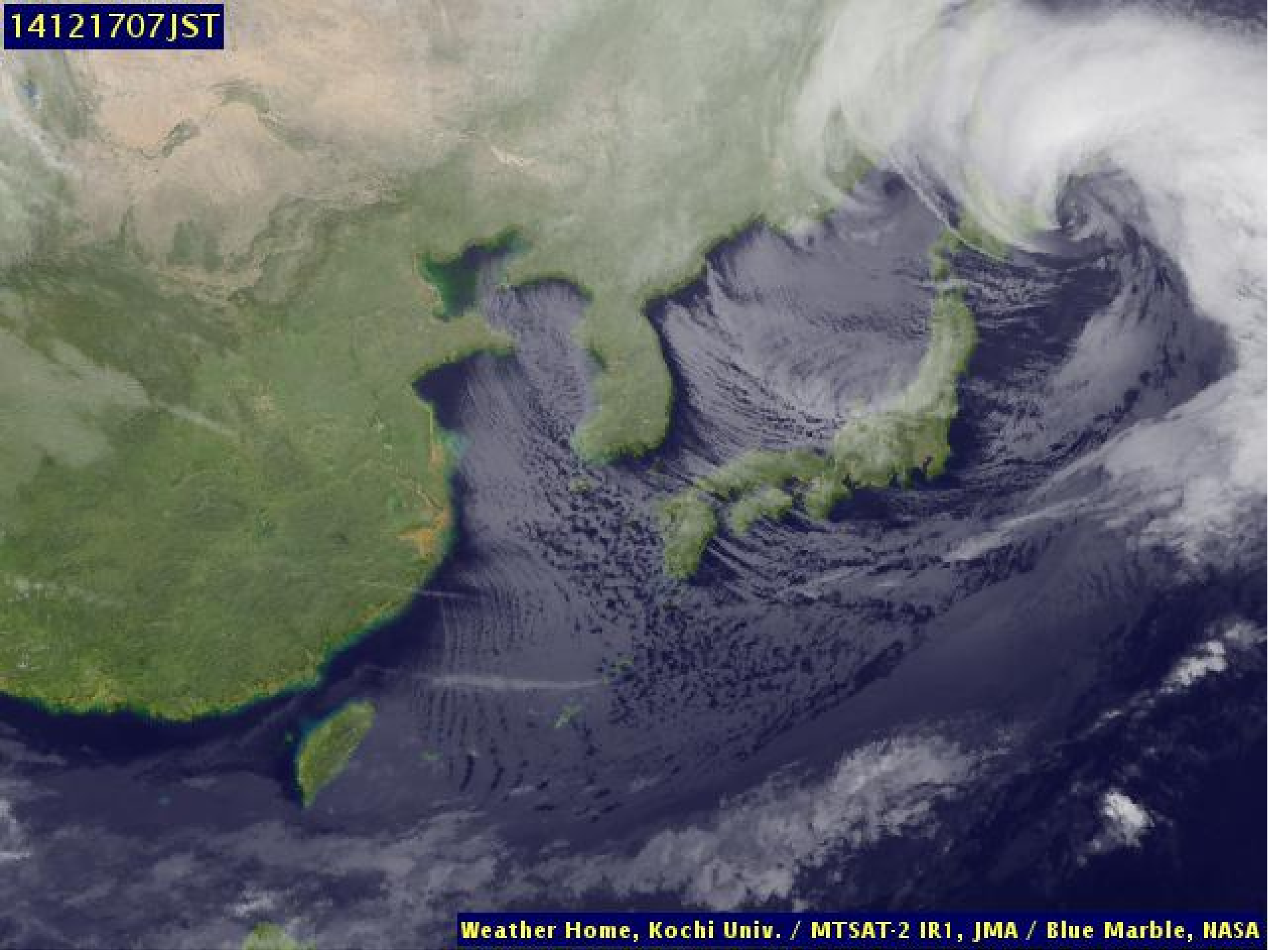

14121702JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

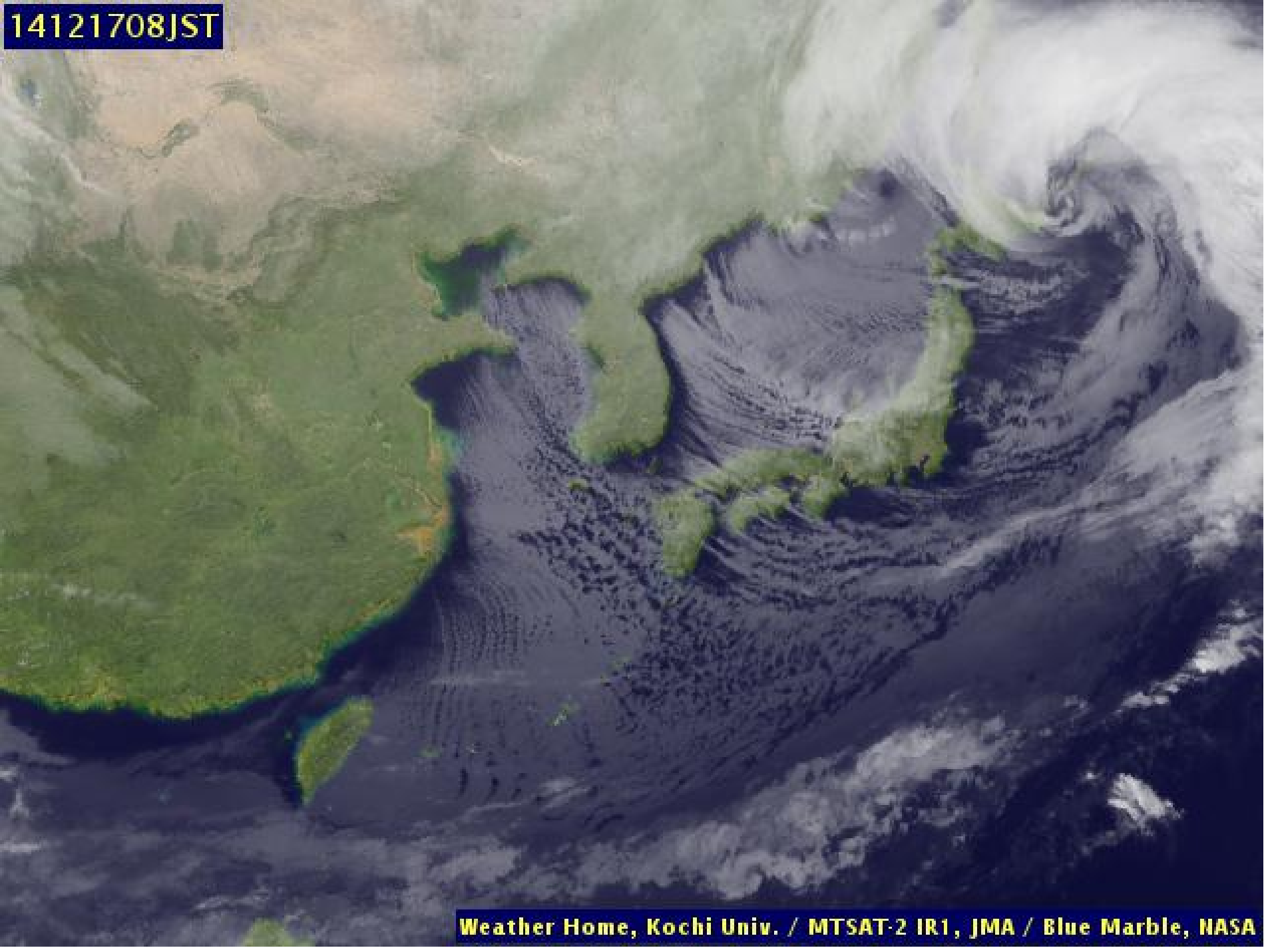

14121703JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

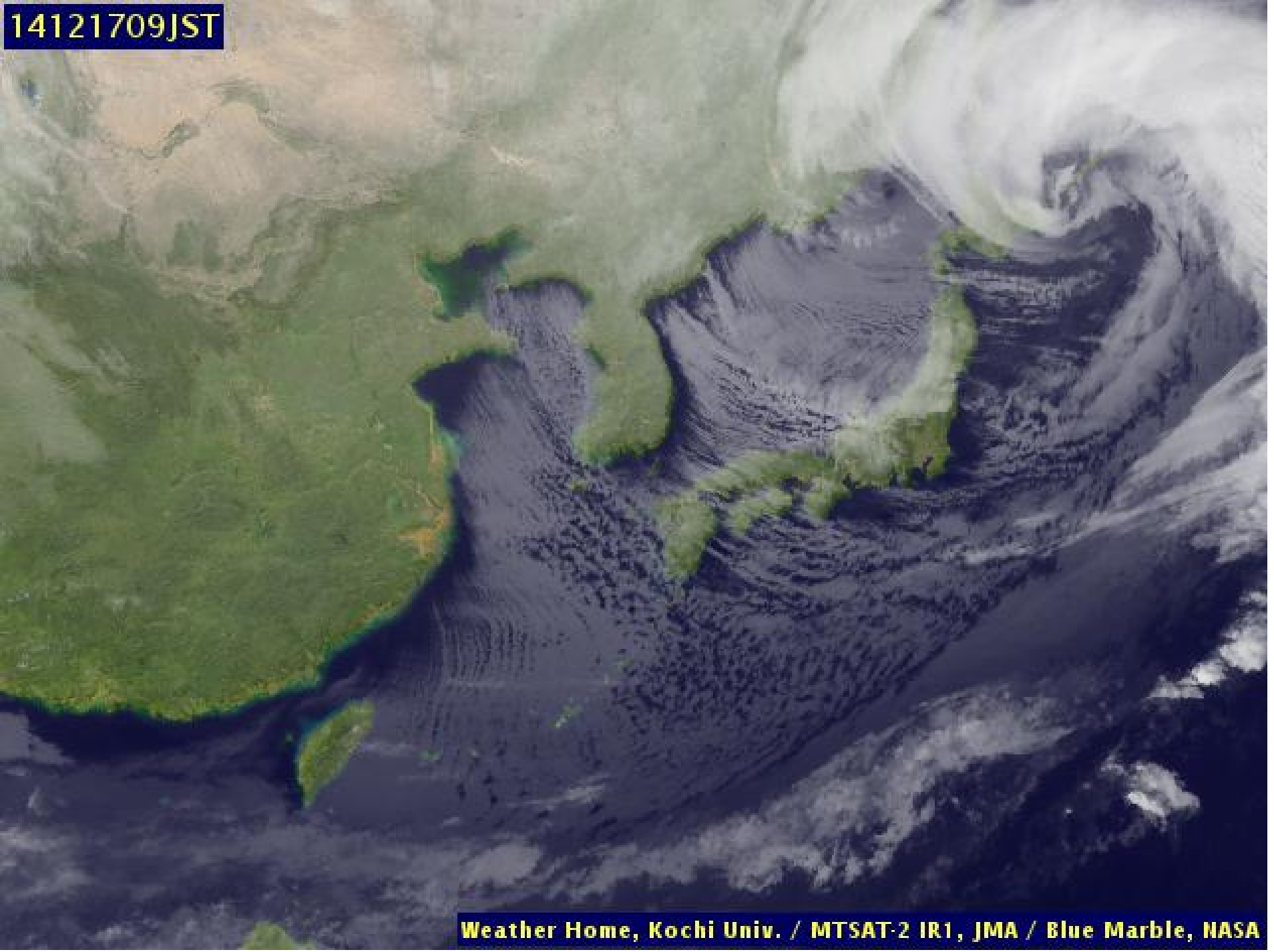

14121704JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA


14121705JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA


14121706JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA


14121707JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA


14121708JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA


14121709JST
Weather Home, Kochi Univ. / MTSAT-2 IR1, JMA / Blue Marble, NASA

爆弾低気圧って何?

- 中心気圧が、24時間で24 hPa以上、低下した温帯低気圧（通常は24時間で5 hPa程度）

低気圧域内の最大風速がおよそ17 m/s（34ノット，風力8）以上の熱帯低気圧は

台風

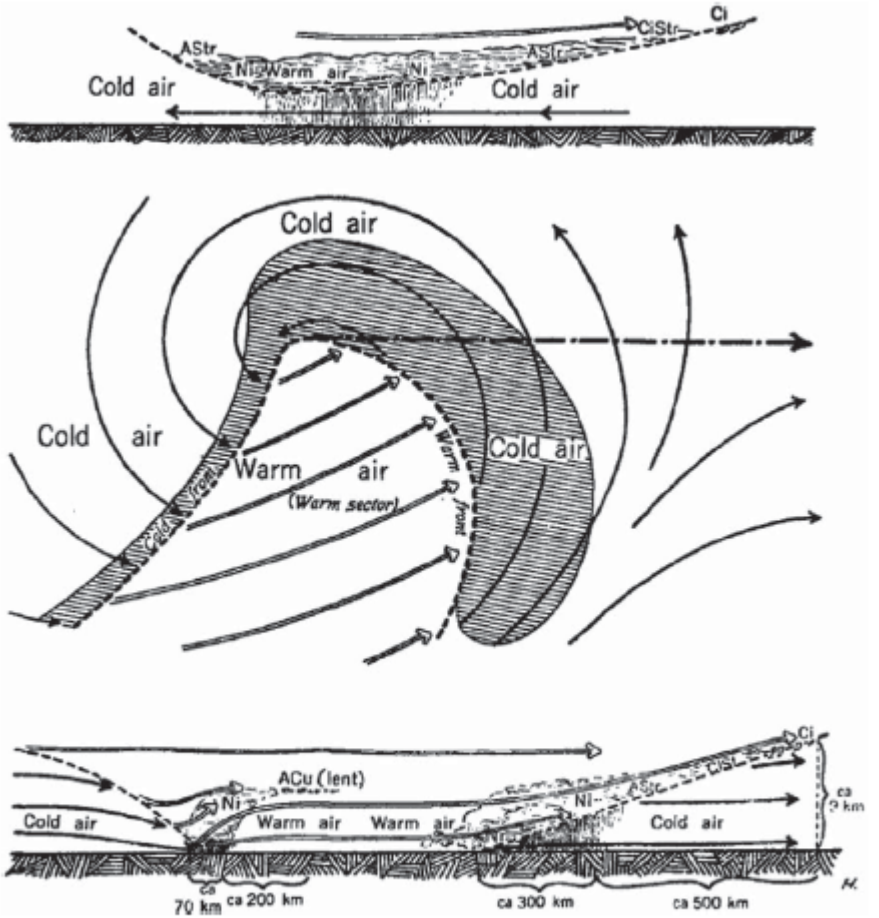
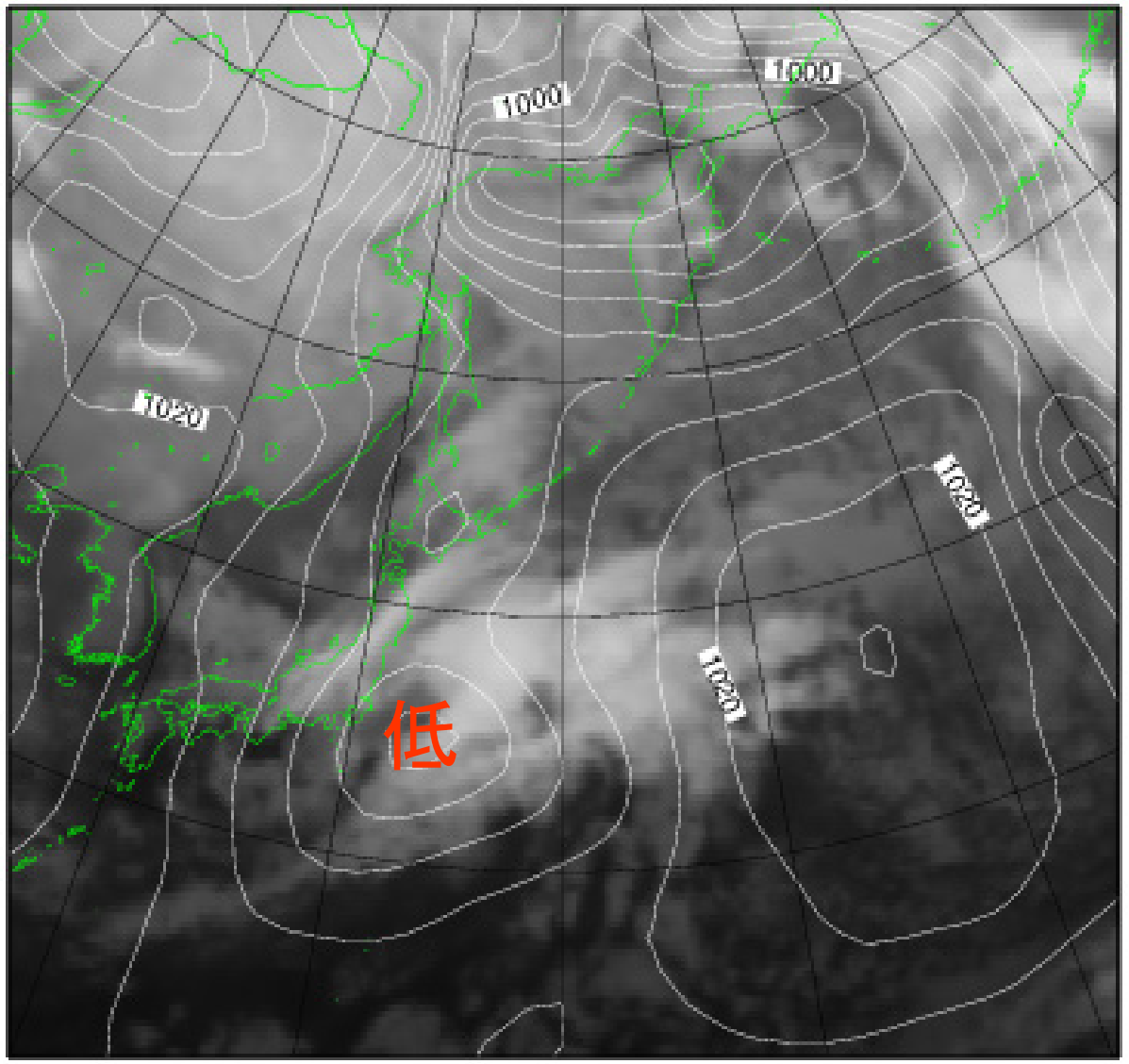
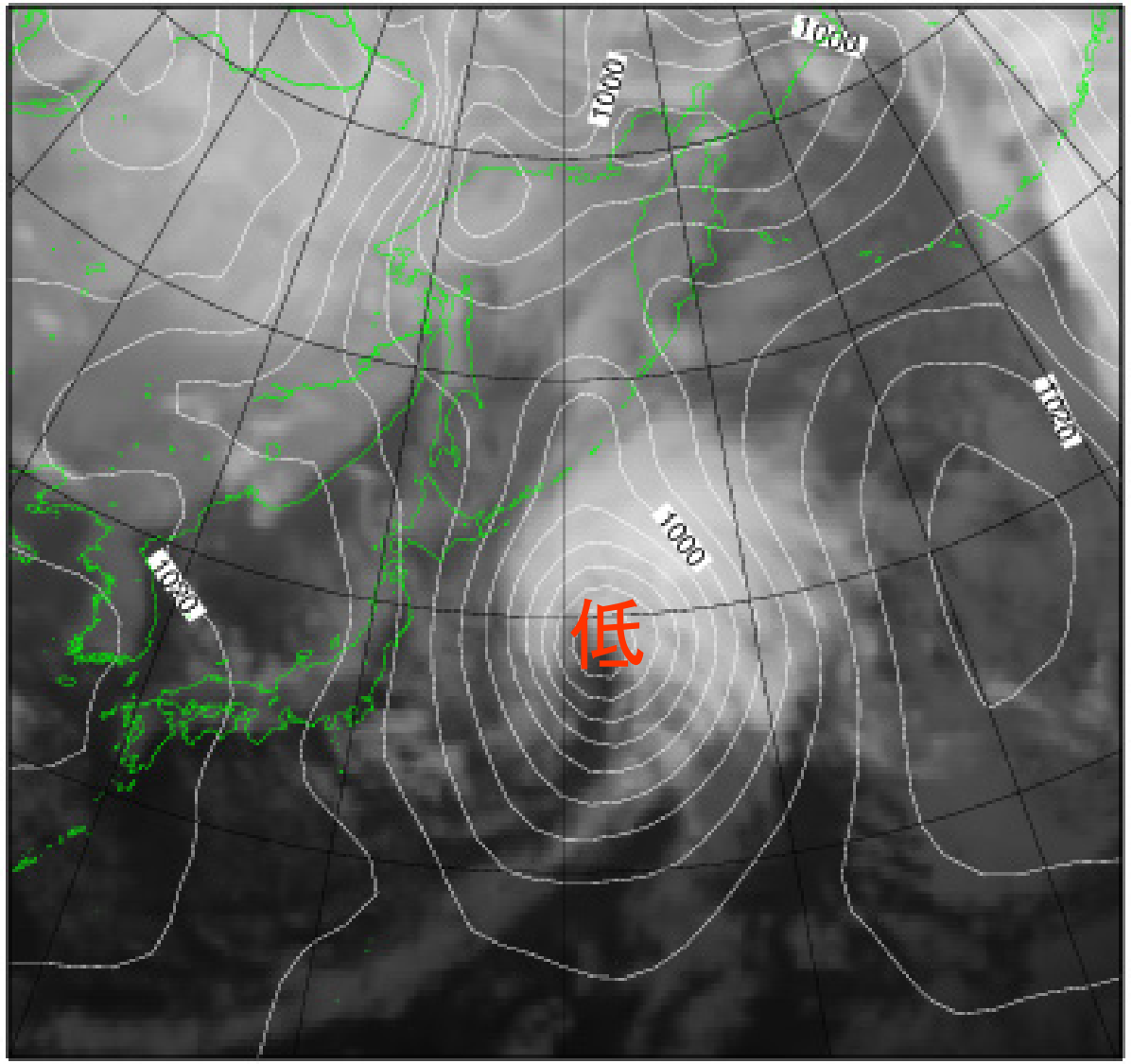


FIG. 1. Illustration of frontal clouds and precipitation in the Norwegian Cyclone Model, as conceptualized in Bjerknes and Solberg (1922).

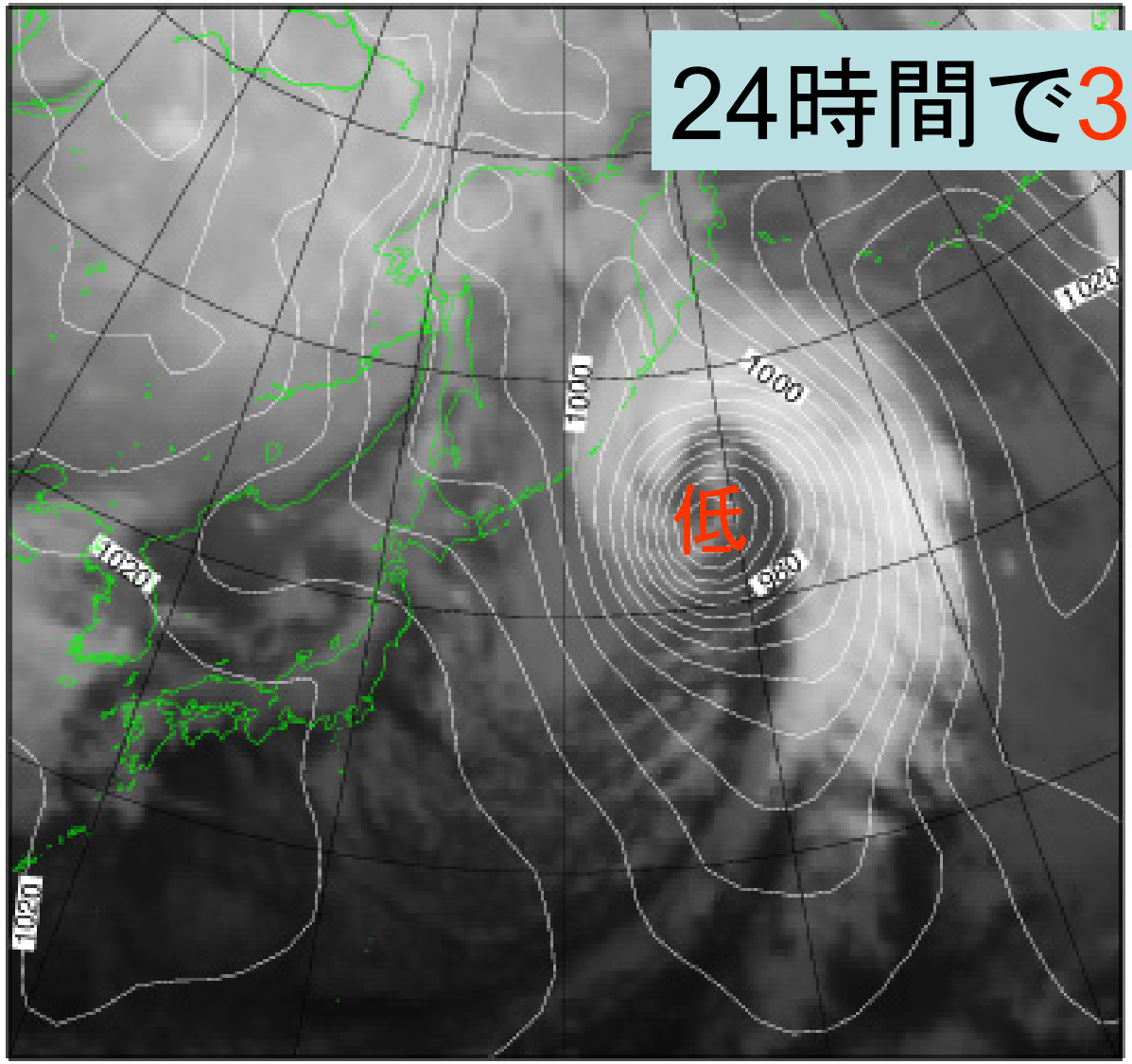
1997年12月30日1200 UTC
中心気圧：999 hPa、最大風速：16 m/s、強風半径：400 km



1997年12月31日0000 UTC
中心気圧：976 hPa、最大風速：22 m/s、強風半径：800 km

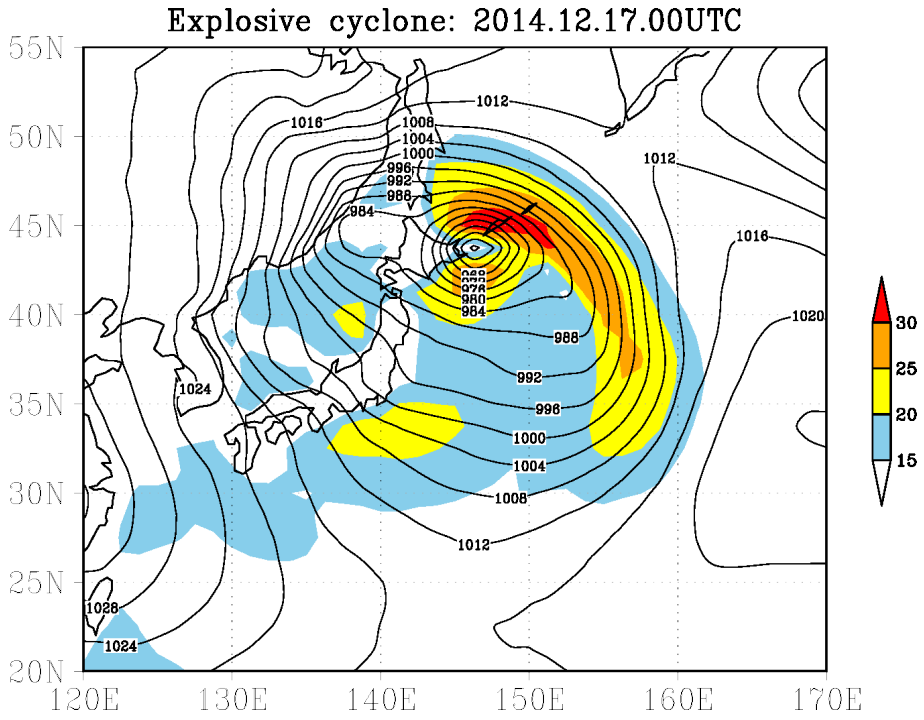


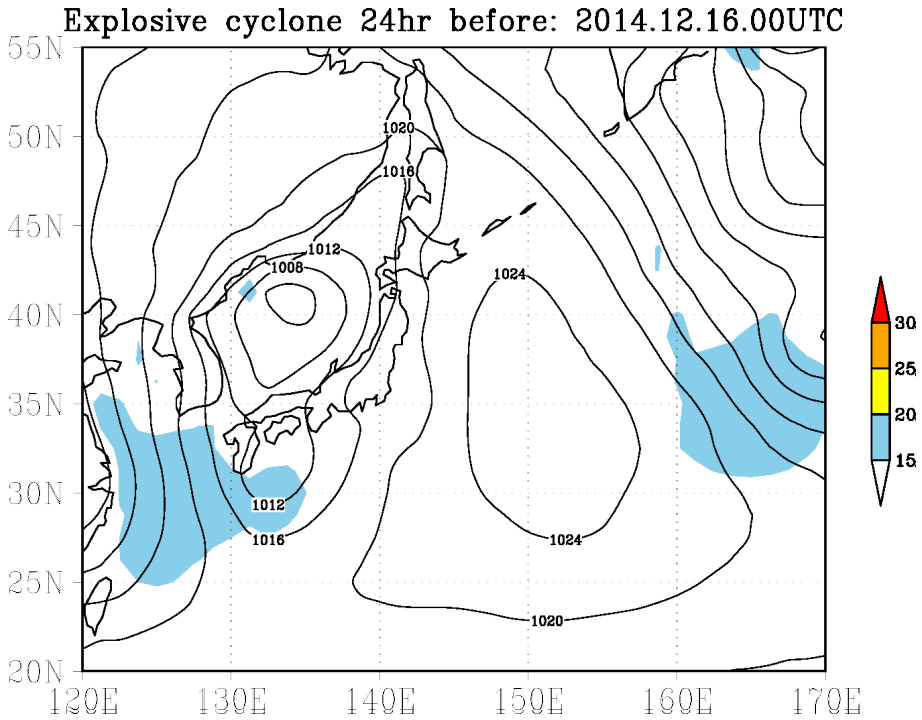
1997年12月31日1200 UTC
中心気圧：960 hPa、最大風速：28 m/s、強風半径：1000 km



24時間で39 hPa

爆弾低気圧と台風の違い



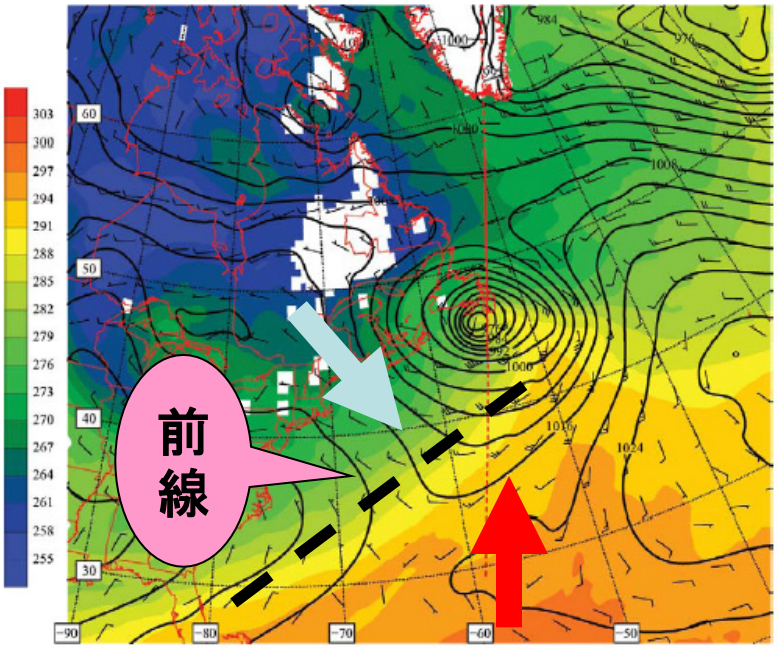


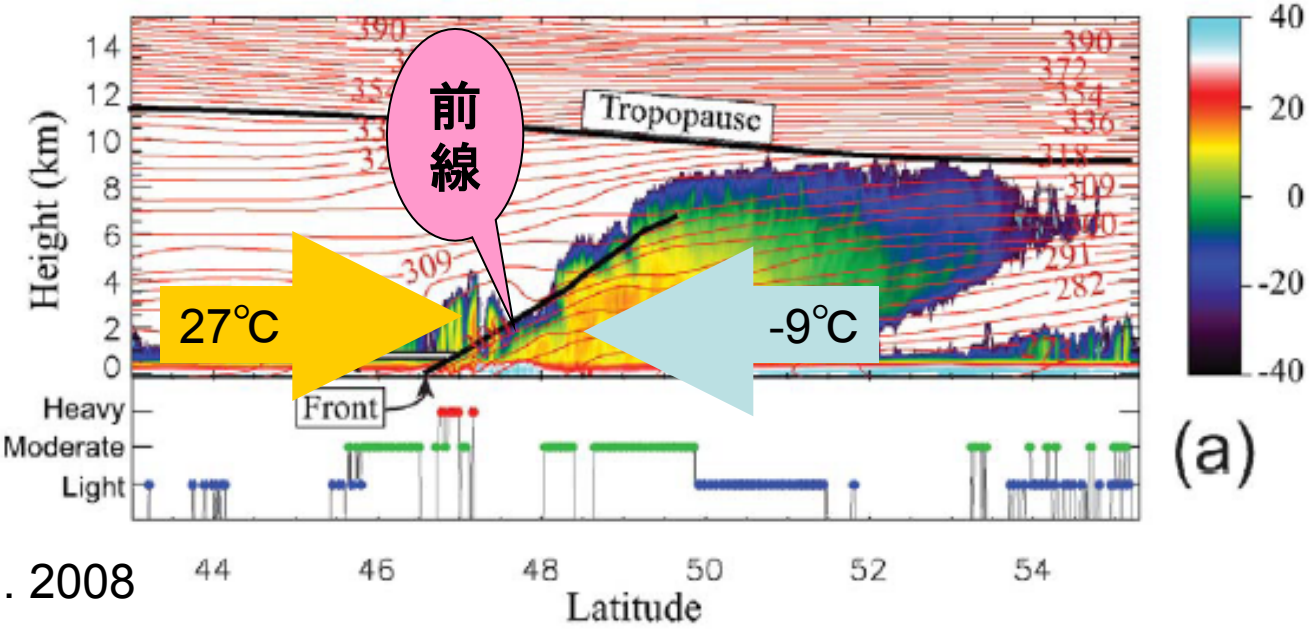
爆弾低気圧：風の分布が非対称で空間スケール大

台風：風の分布が対称で空間スケール小

温帯低気圧の構造

- 寒気と暖気のぶつかり合いがエネルギー源
- 水平方向の気温差（気温勾配）が重要

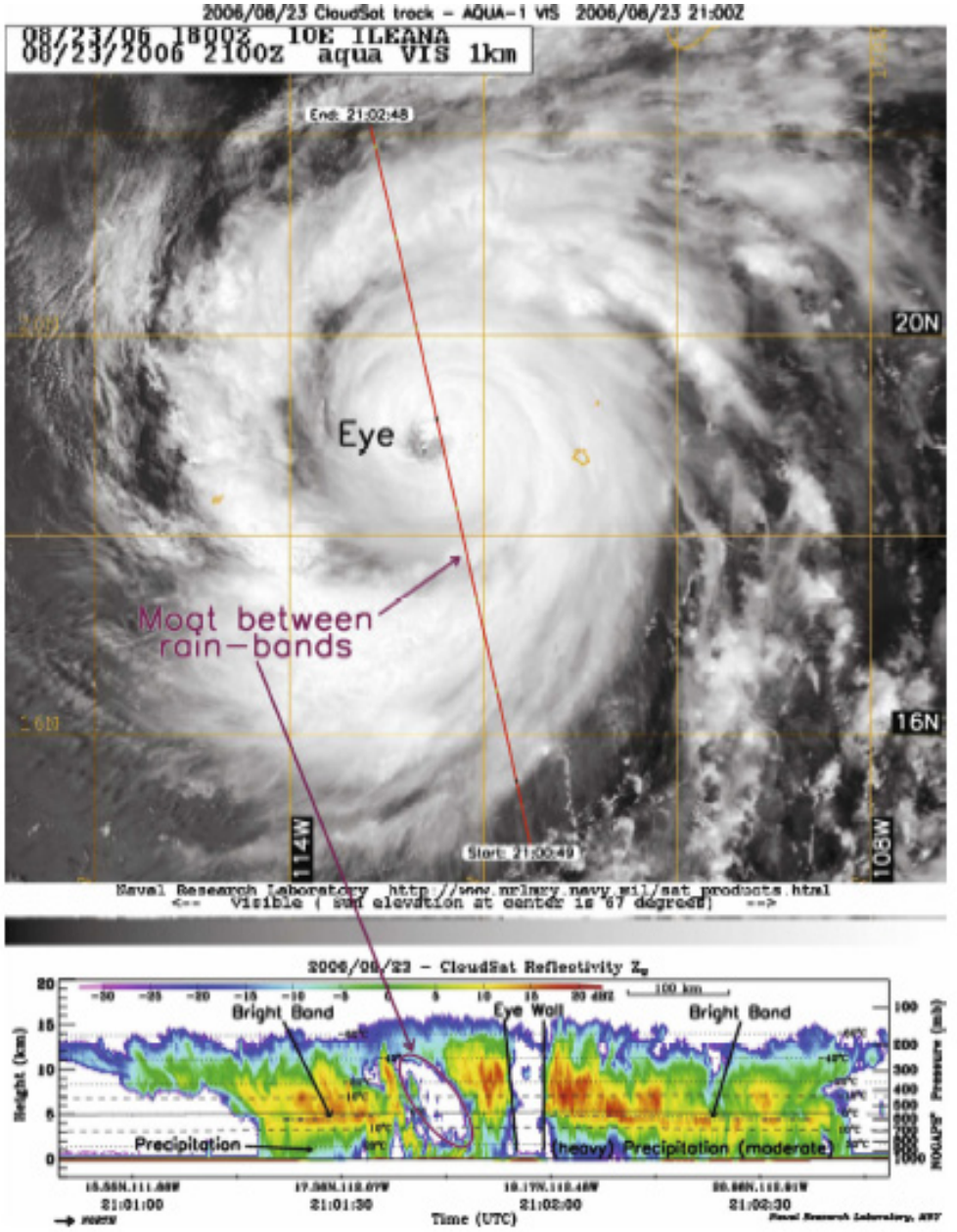




Posselt et al. 2008

台風(熱帯低気圧)の構造

- 水蒸気の凝結を伴った積乱雲の発達がエネルギー源
- 地表付近の水蒸気量と大気の上下気温差が重要



Mitrescu et al. 2008

FIG. 2. The A-Train (*Aqua*-VIS and *CloudSat*) view of Hurricane Ileana at 2100 UTC 23 Aug 2006. See text for explanations.

台風と爆弾低気圧の違い（防災面）

- 台風：
  - 強風、大雨が比較的**狭い（約1000 km）**範囲に集中し、長時間持続しながら移動
  - 「どこを通るか（**進路**）」
  - **線**の予測
  - **準備ができる**（5日前から予報が出る）

- 爆弾低気圧：
  - 比較的**広い（約2000 km）**範囲に影響するが、持続時間は比較的短い
  - 「どこで、どのくらい発達するか（**場所+強さ**）」
  - **点**の予測
  - **準備ができない（をしない）かも、、。**（急に発達する）

じゃあ、爆弾低気圧って

- いつ起きる?
- どこで起きる?
- いくつ起きる?
- なんで起きる?
- 予測はできる?

という、素朴な疑問

爆弾低気圧（bomb cyclone） 事始め

- 1978年9月北大西洋上で低気圧が急発達
- 客船クイーンエリザベス2世号（損傷）とトロール船 Captain Cosmo（沈没）が遭遇
- 当時の数値予報では、急発達を予測できず。
（60 hPa/24時間）

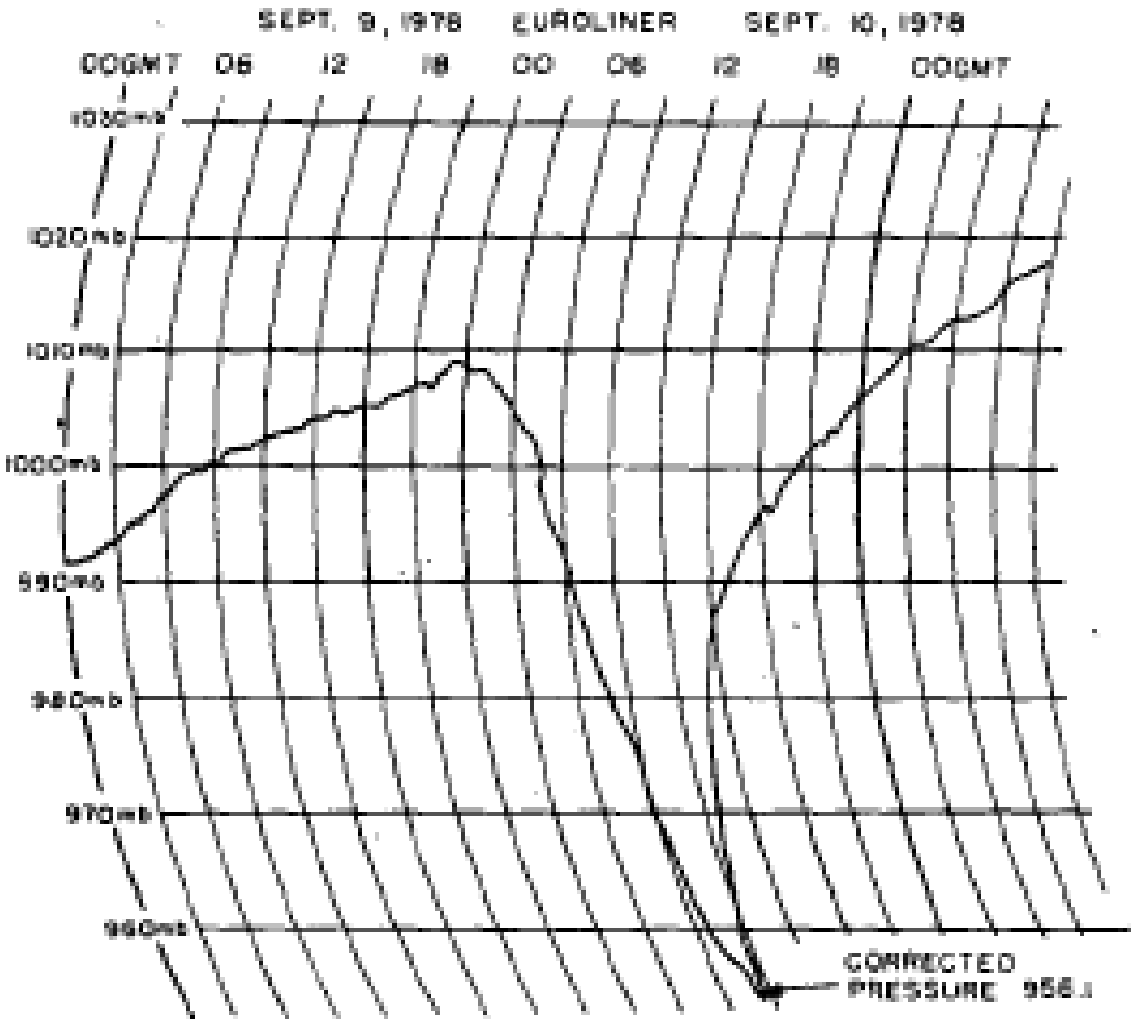
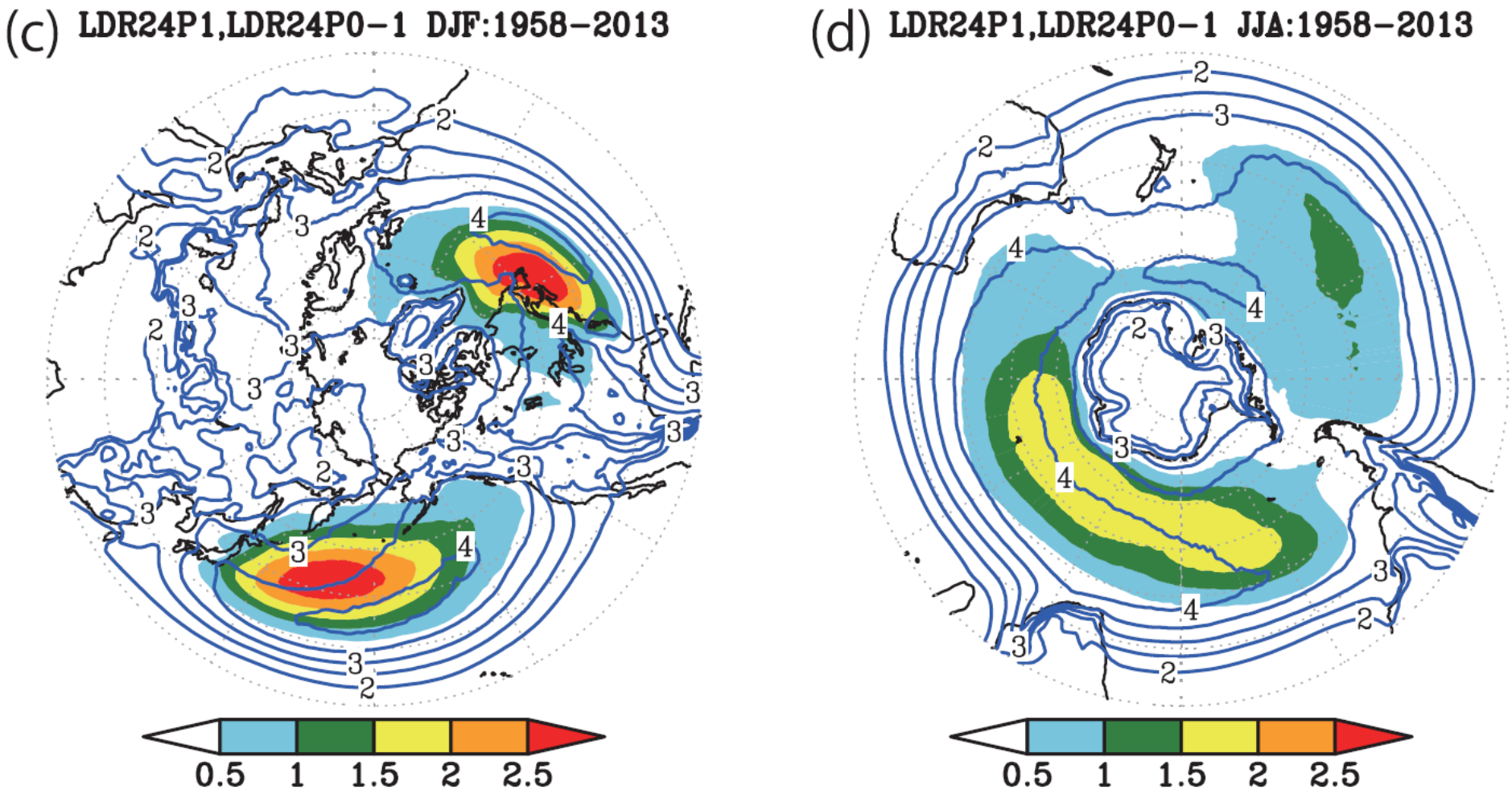


FIG. 1. *Euroliner* barograph trace for 9–10 September 1978.

爆弾低気圧はどこで起きる？



- 日本付近と北米西海岸で多い。
- 南大洋はアフリカ側で多い。

1998年（大学院進学）当時の知見

- ほとんどが冬に発生。
- 日本付近と北西大西洋に多い。
- 上空のトラフと関係
- 日本付近の爆弾低気圧の研究例は少ない。

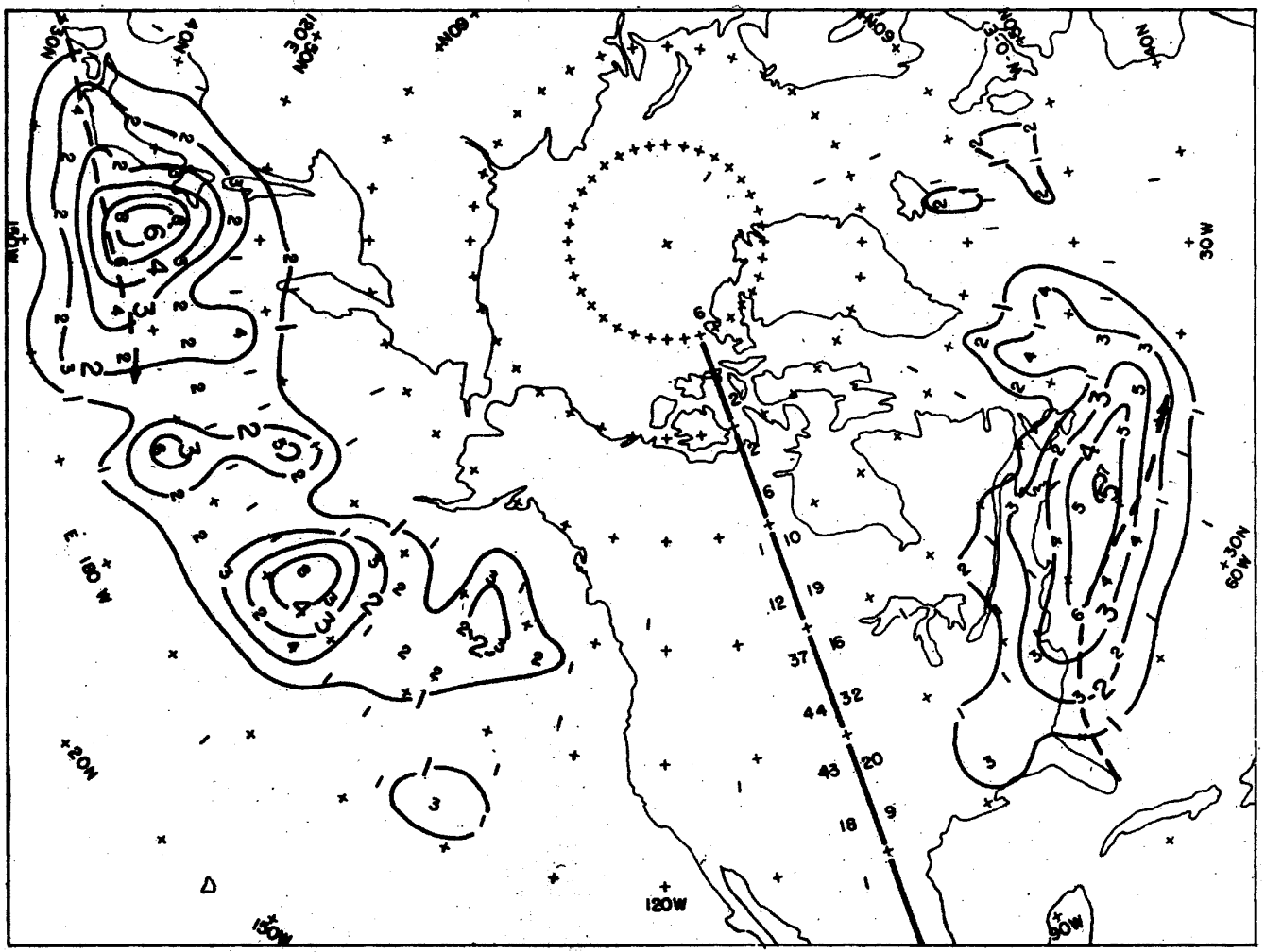


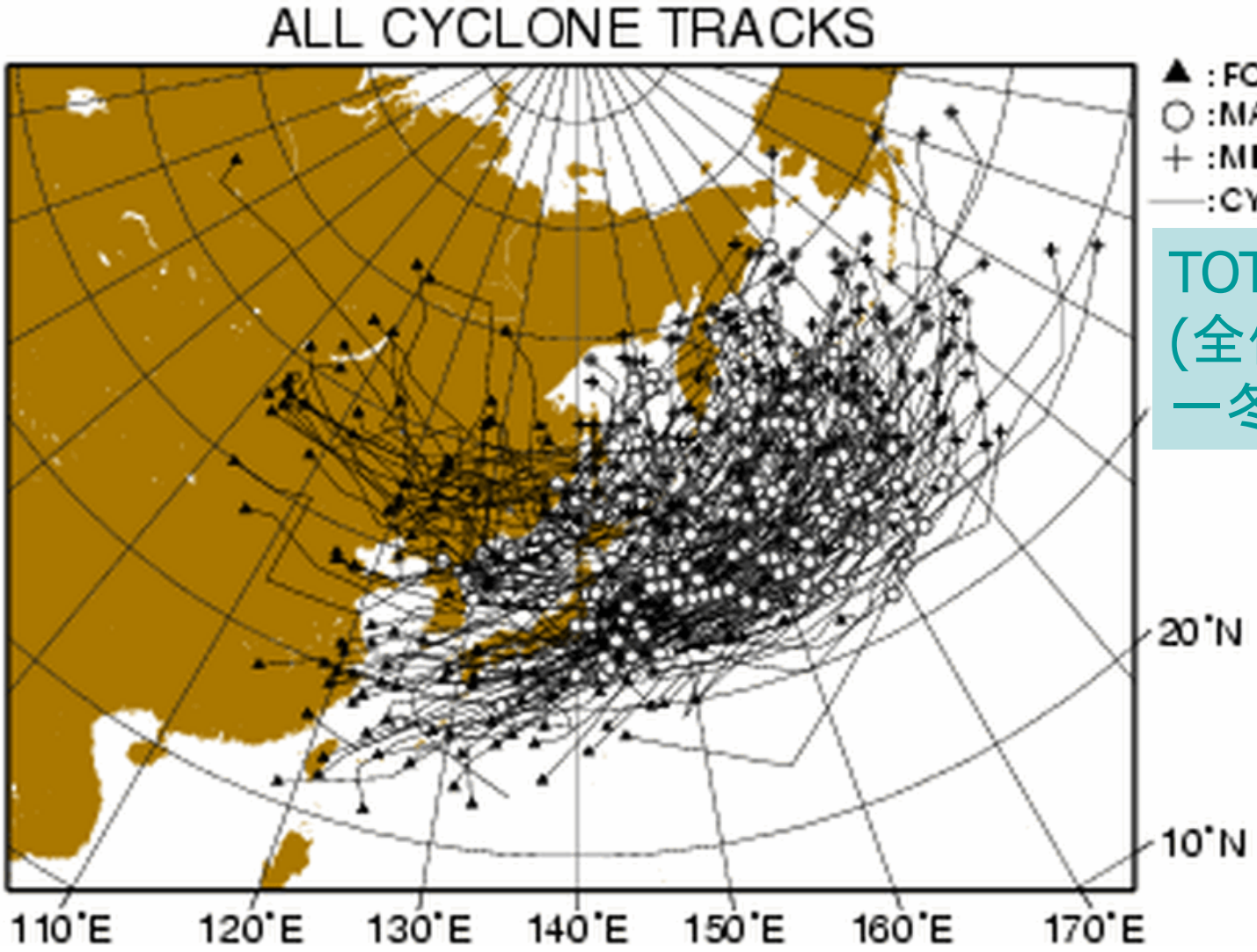
FIG. 3. Distribution of bomb events during three cold seasons. Raw non-zero frequencies appear in each 5° × 5° quadrilateral of latitude and longitude. Isopleths represent smoothed frequencies, obtained as one-eighth of the sum of four times the raw central frequency plus the sum of the surrounding raw frequencies. The column of numbers to the left and right of the heavy line along longitude 90°W represent, respectively, the normalized frequencies for each 5° latitude belt in the Pacific and Atlantic regions, using a normalization factor of (cos42.5/cosϕ). Heavy dashed lines represent the mean winter position of the Kuroshio and the Gulf Stream.

Sanders and Gyakum 1980

大学院6年間でやったこと

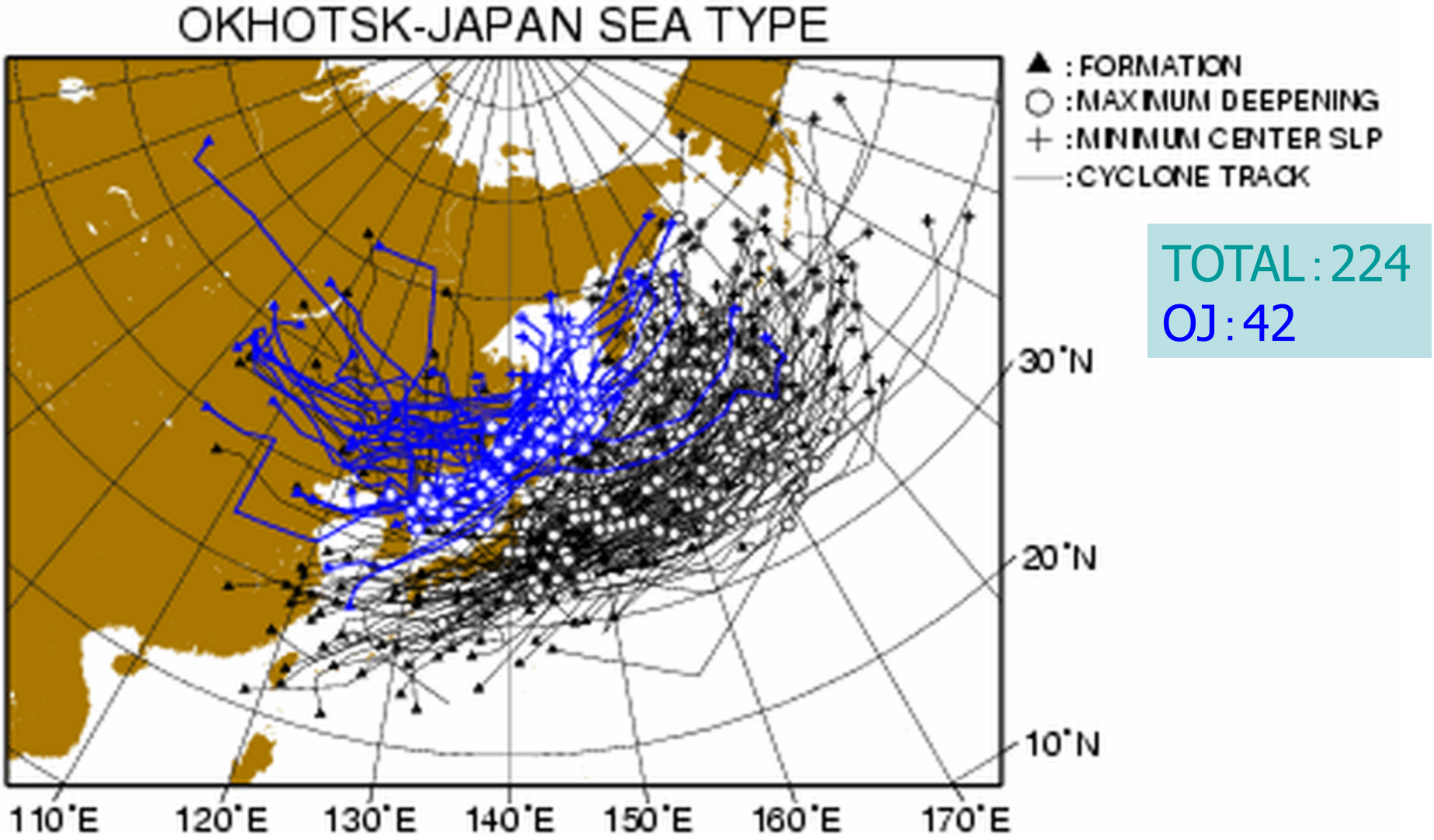
- 修士課程:
  - 気象庁天気図(1日4枚)を1年分(1460ページ!)眺めて、ひたすら日本付近の低気圧を数えた。
  - 日本付近の特徴が見え始めた。
- 博士課程:
  - 気象庁から気圧等の電子データ(GANAL)が手に入ったので、5年分の低気圧が調べられた。
  - 5年分もあれば、統計的なこともいえそう。
  - パソコンで数値モデルを動かせるようになったので、メカニズムを数値実験で確かめられるかも。

5年間の爆弾低気圧の移動経路



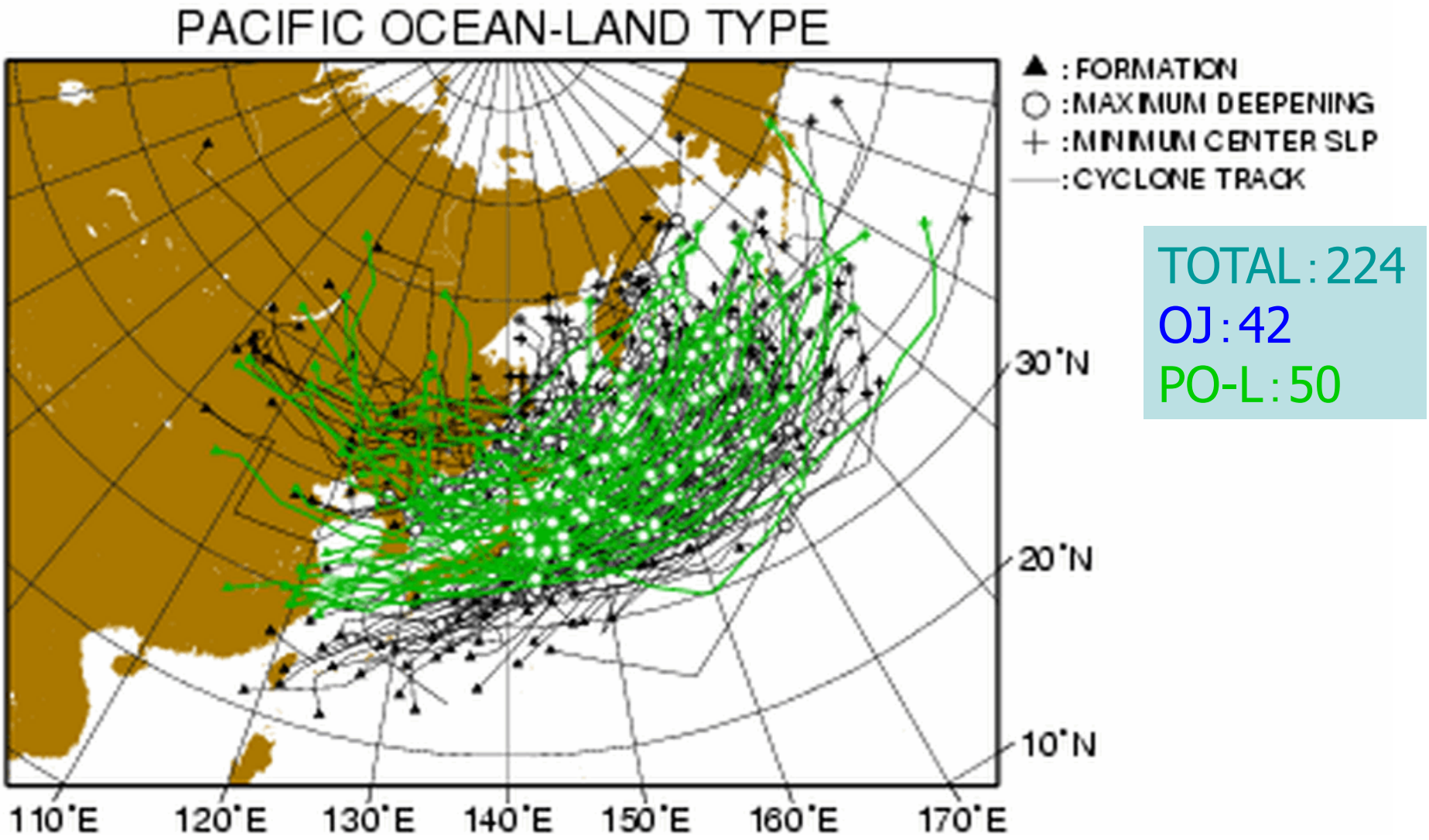
TOTAL：224事例
(全低気圧の約4割)
ー冬に約45事例

OJ（オホーツク海・日本海）タイプ



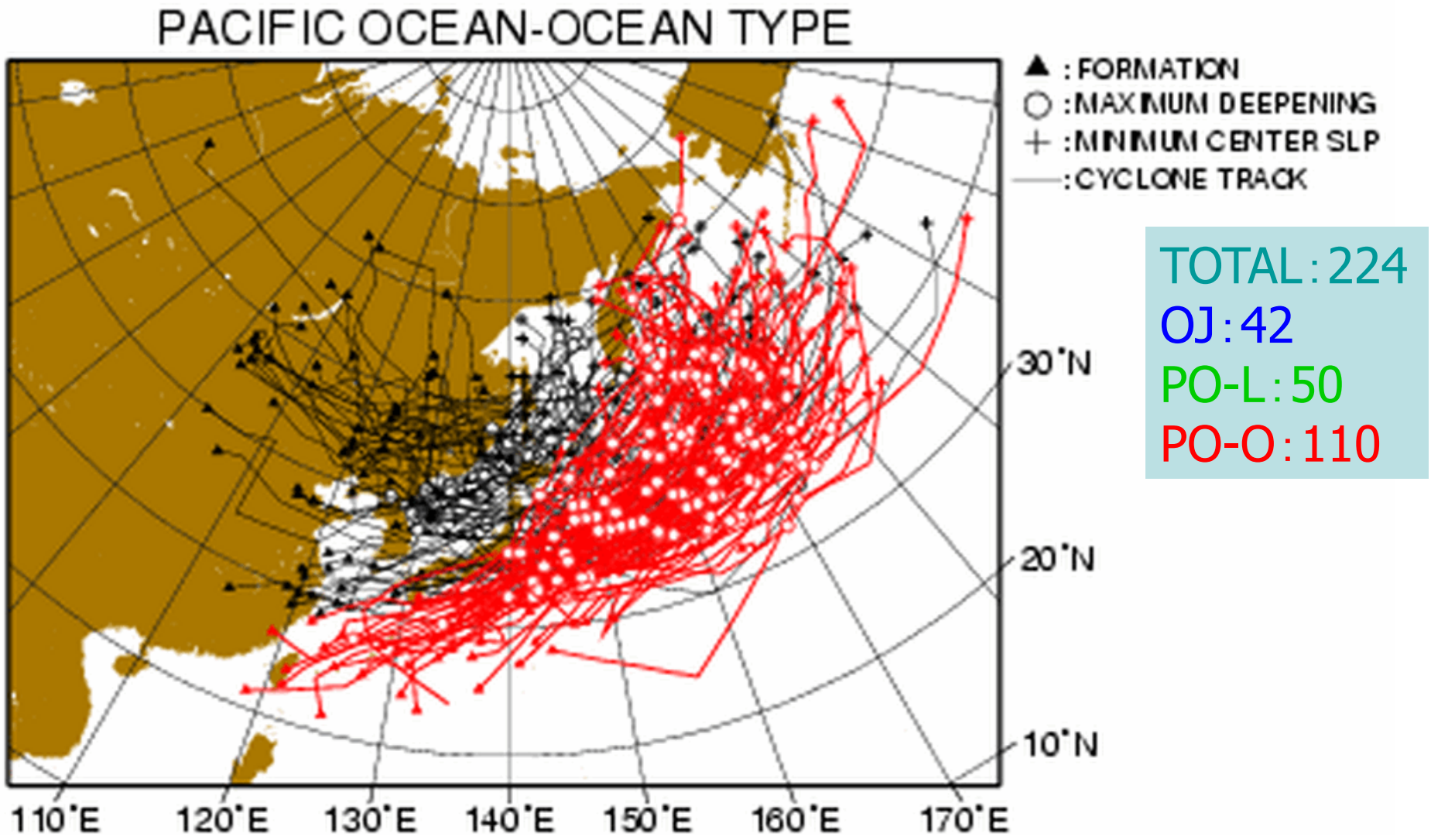
TOTAL : 224
OJ : 42

PO-L（太平洋大陸起源）タイプ

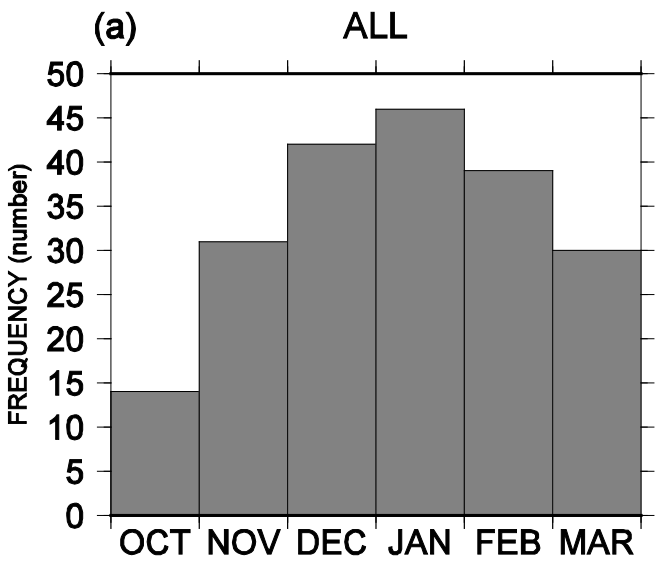


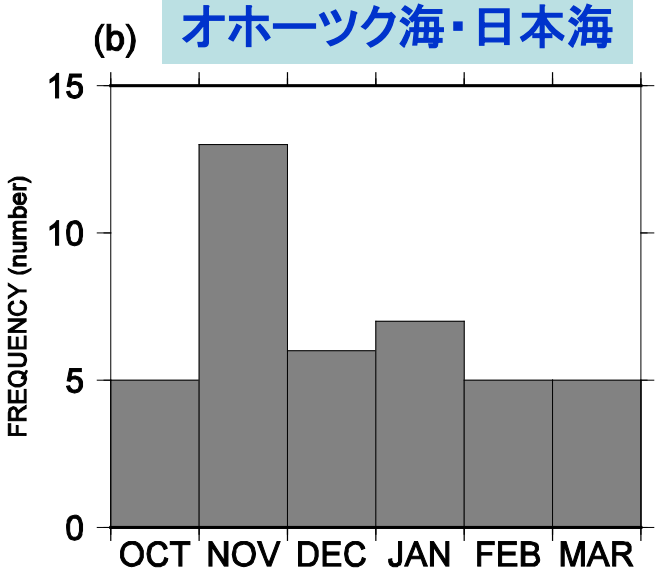
TOTAL : 224
OJ : 42
PO-L : 50

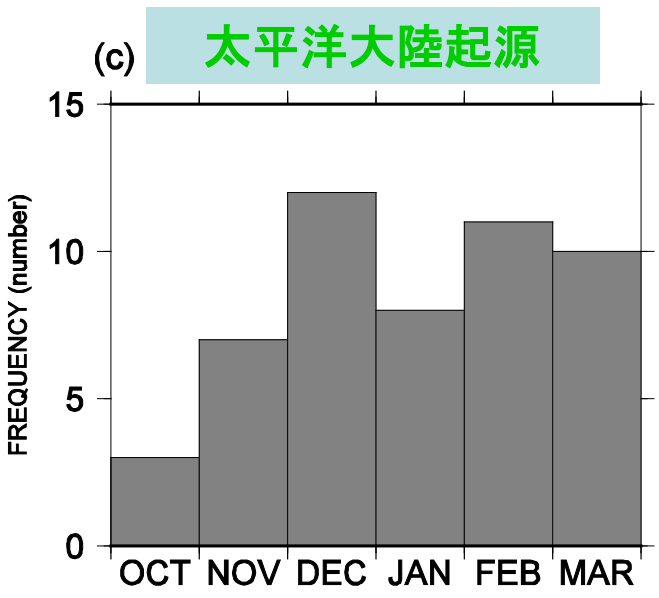
PO-O（太平洋海洋起源）タイプ

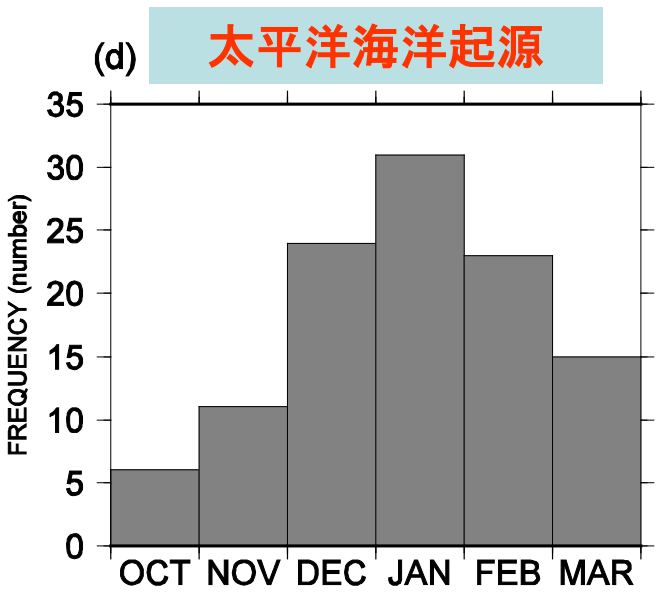


月別発生数



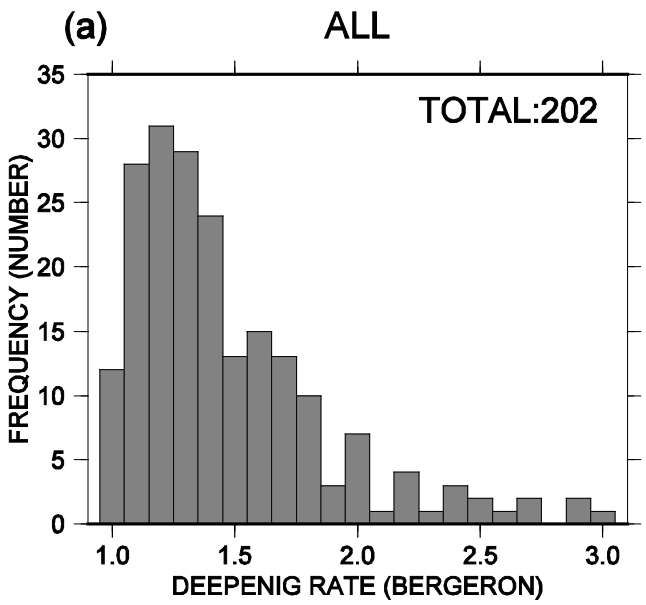


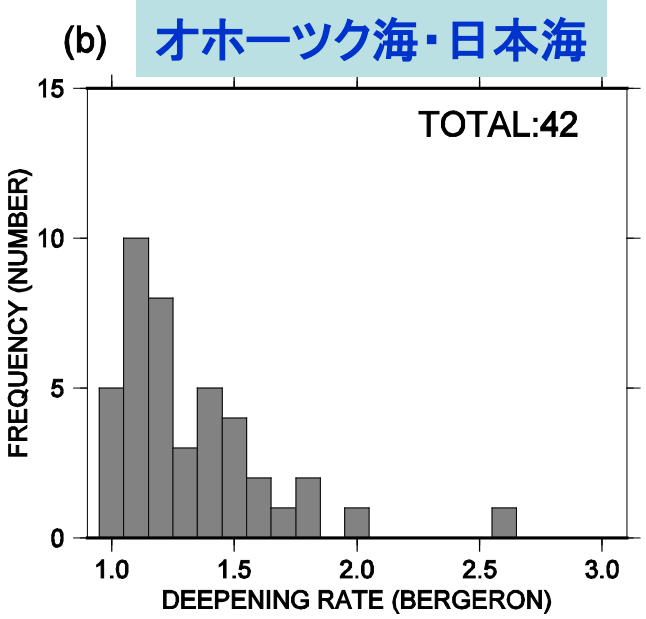


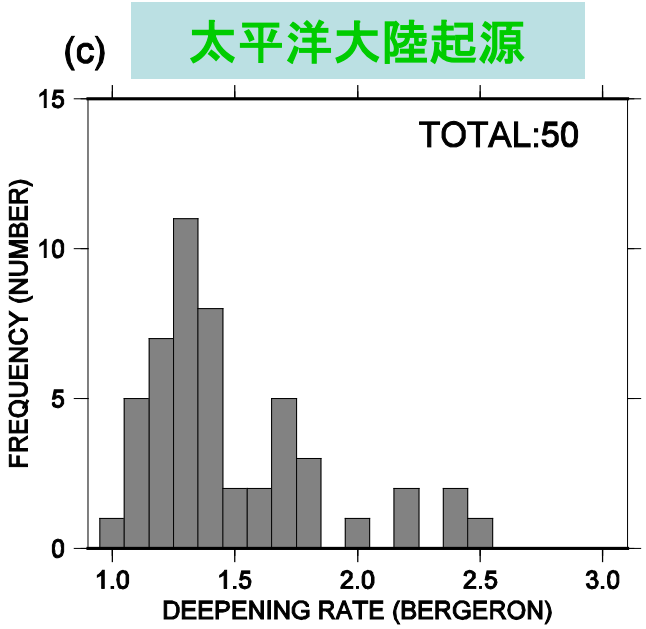


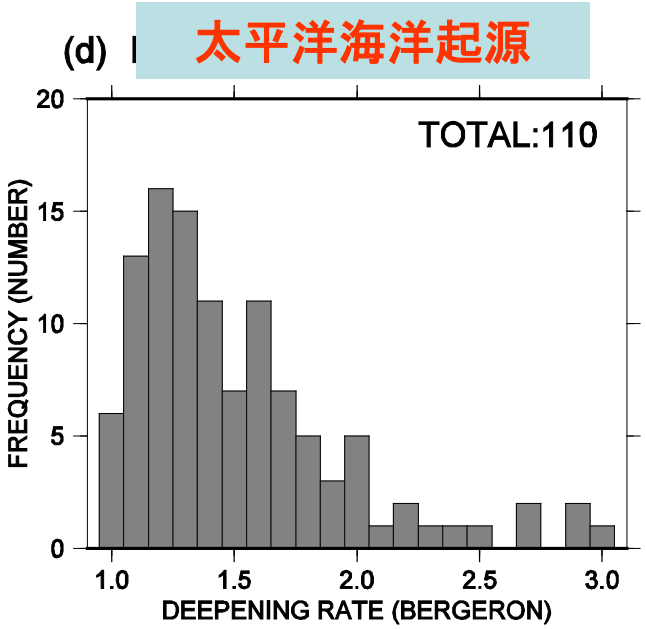
- 全体としては、1月に最も多い。
- オホーツク海・日本海は11月
- 太平洋大陸起源は12月と2月
- 太平洋海洋起源は1月に多い。

最大発達率の頻度





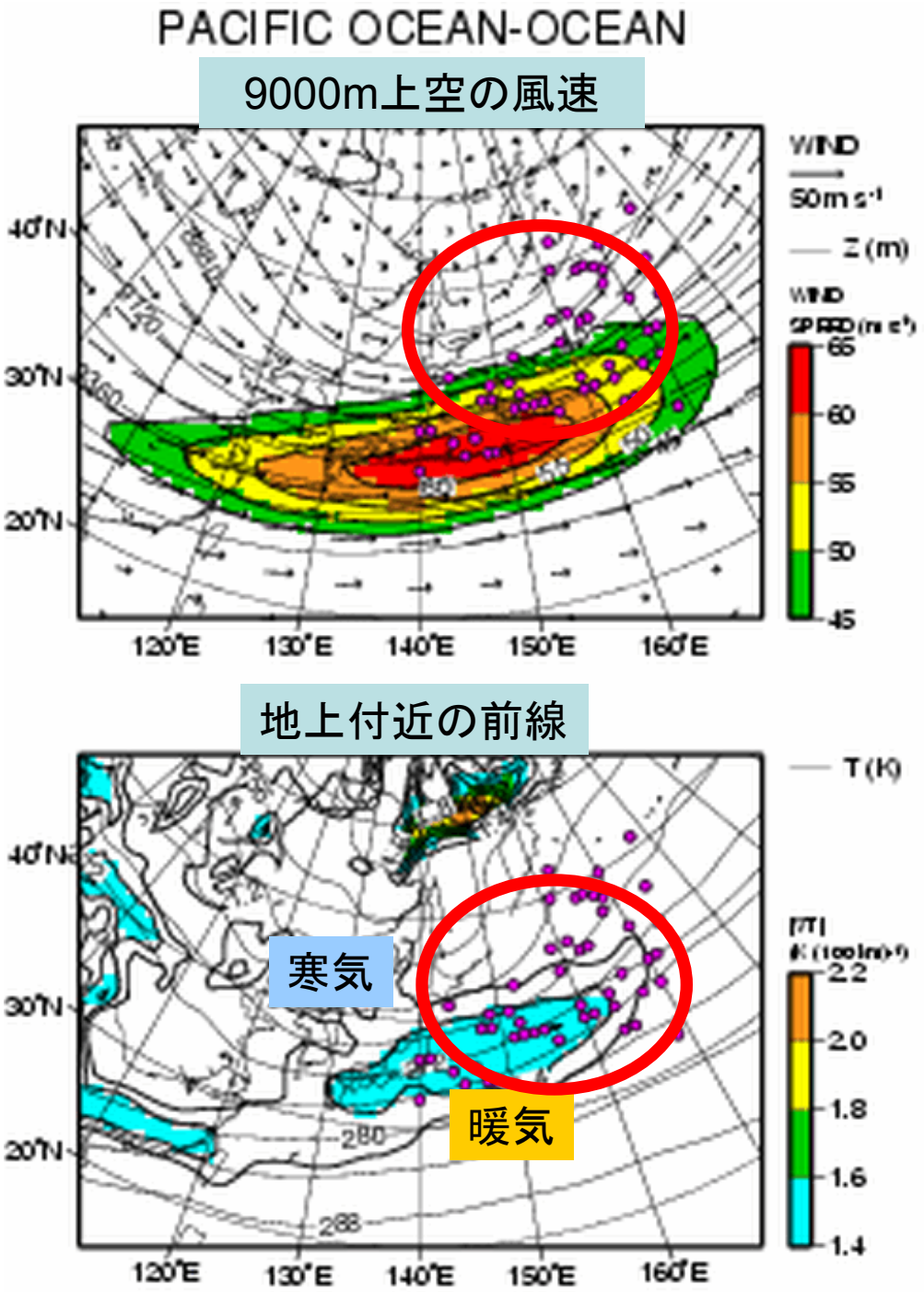




オホーツク海・日本海上より、太平洋上で発達する低気圧の方が、より急激に発達する傾向がある。

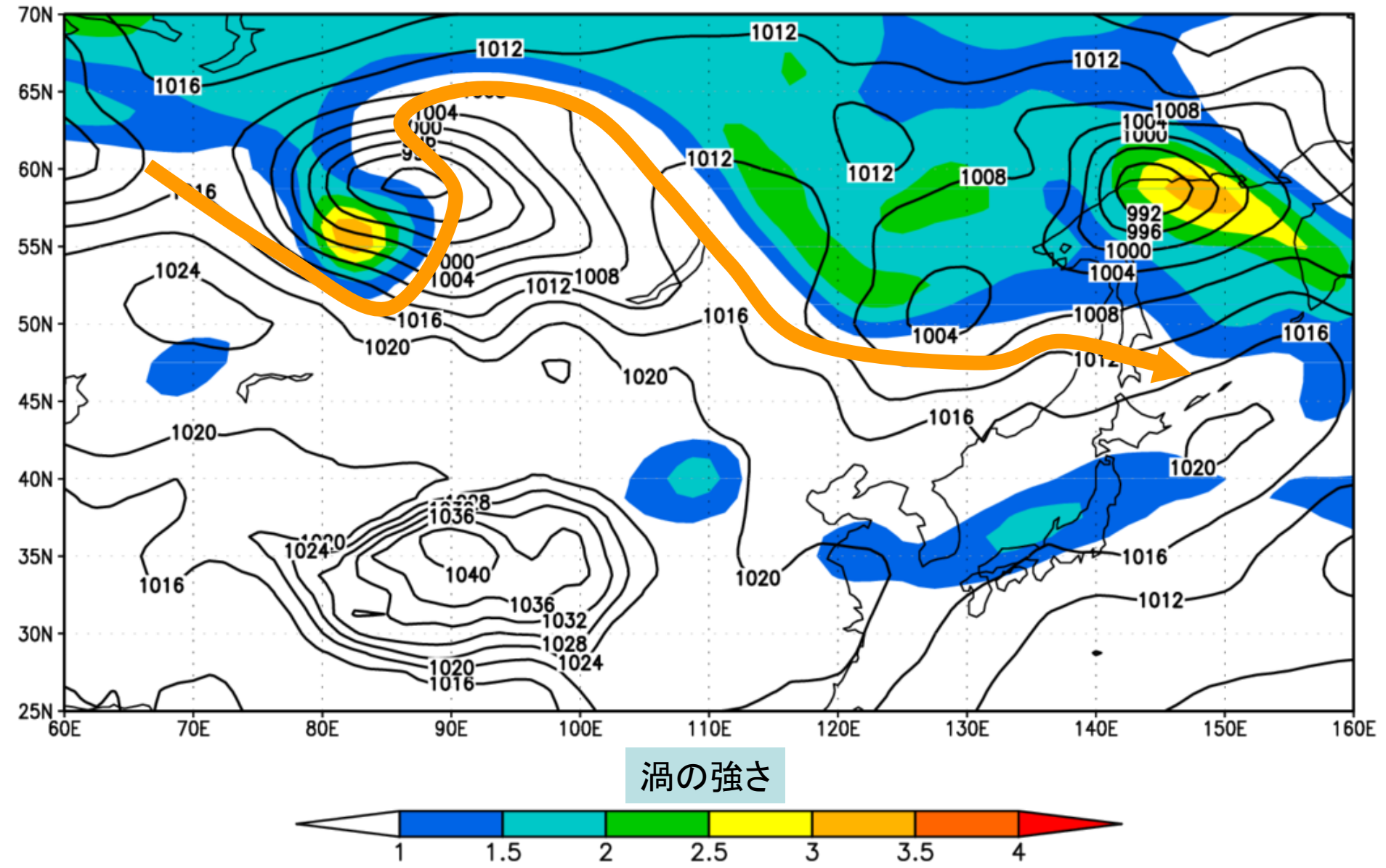
爆弾低気圧が発達する場所

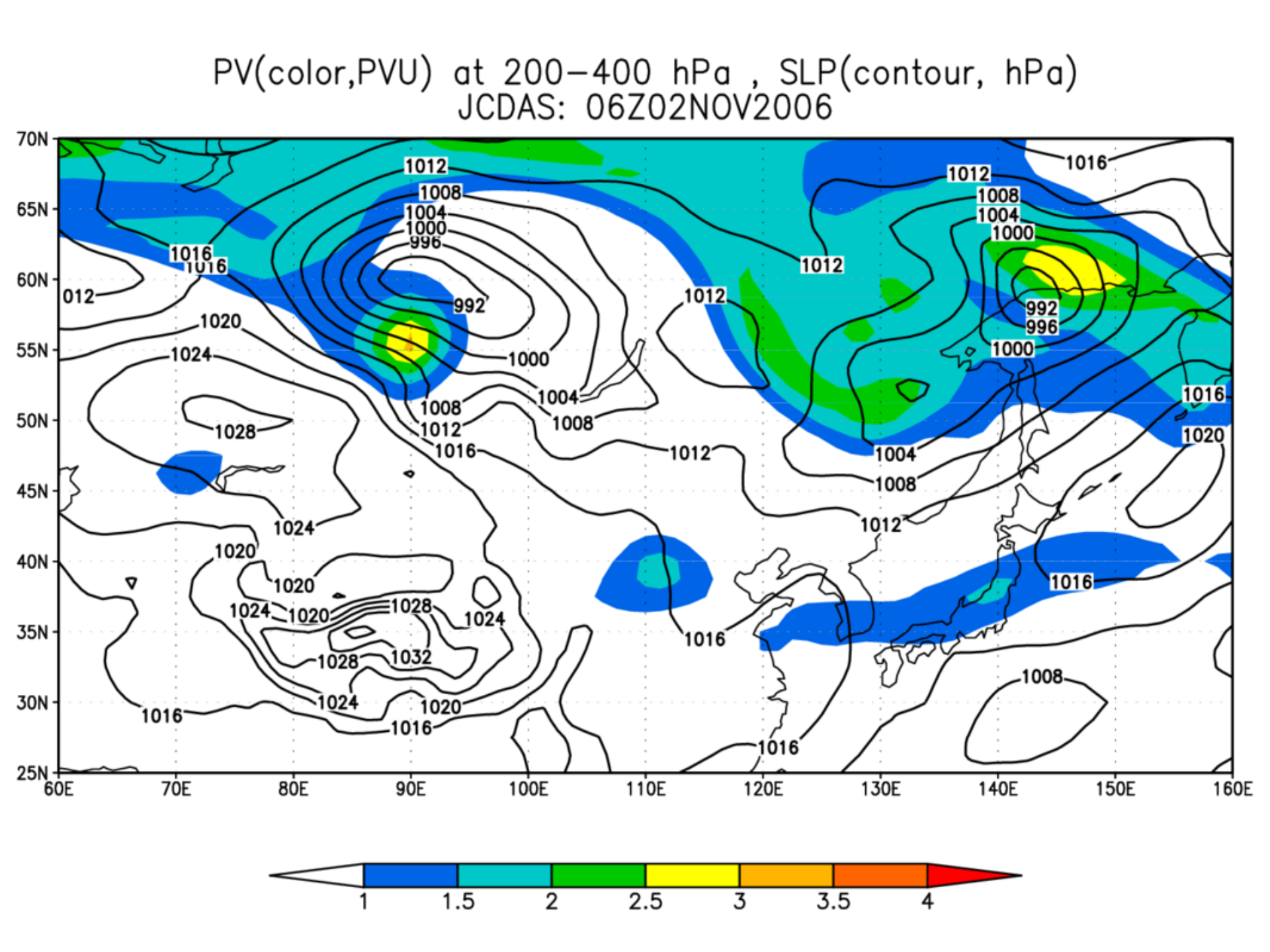
- 上空のジェット気流の最速域の北東側（渦の先端）
- 地上付近の前線付近（気温勾配最大）

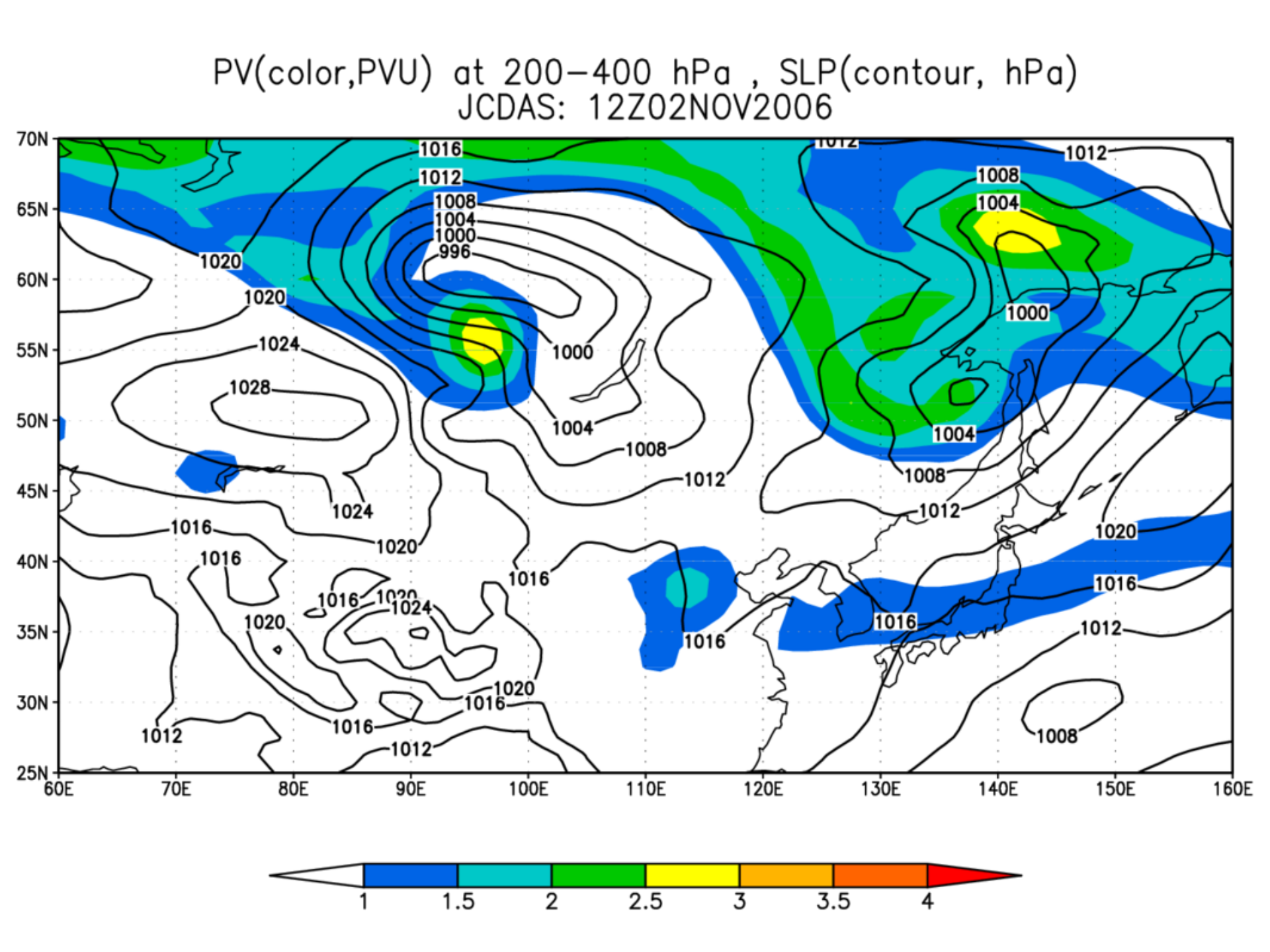


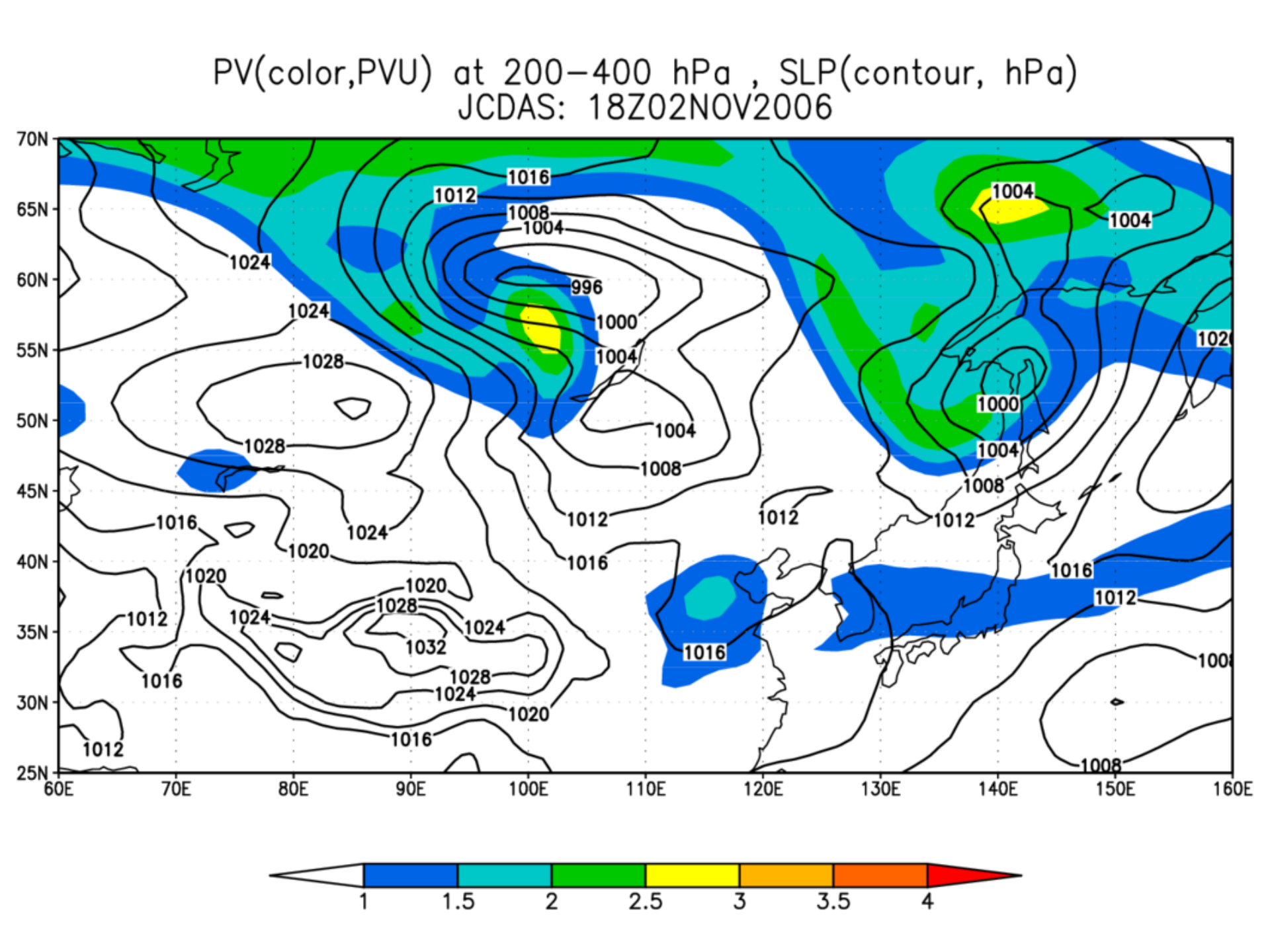
上空の渦と地上の低気圧

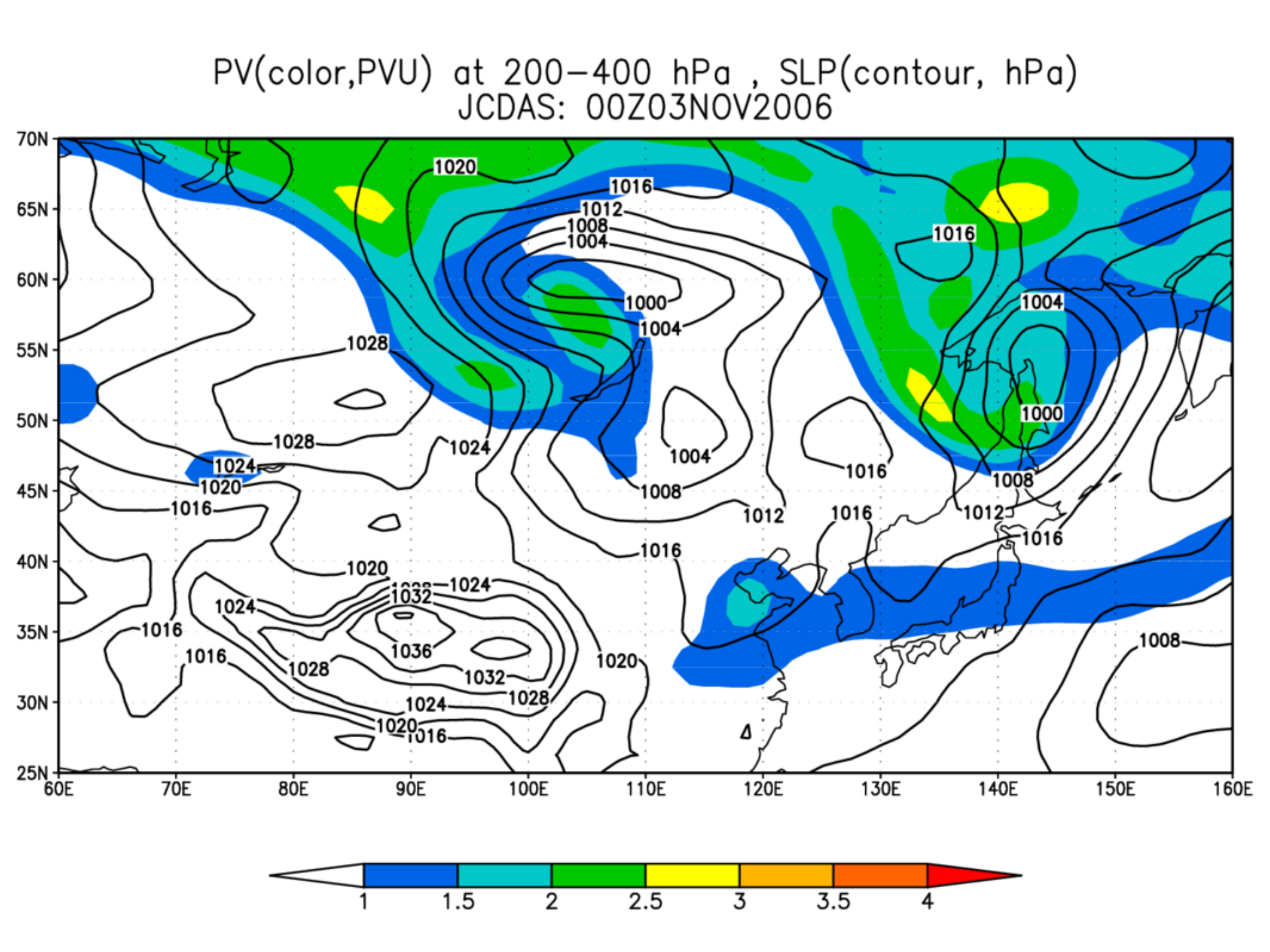
佐呂間竜巻のときの低気圧の発達

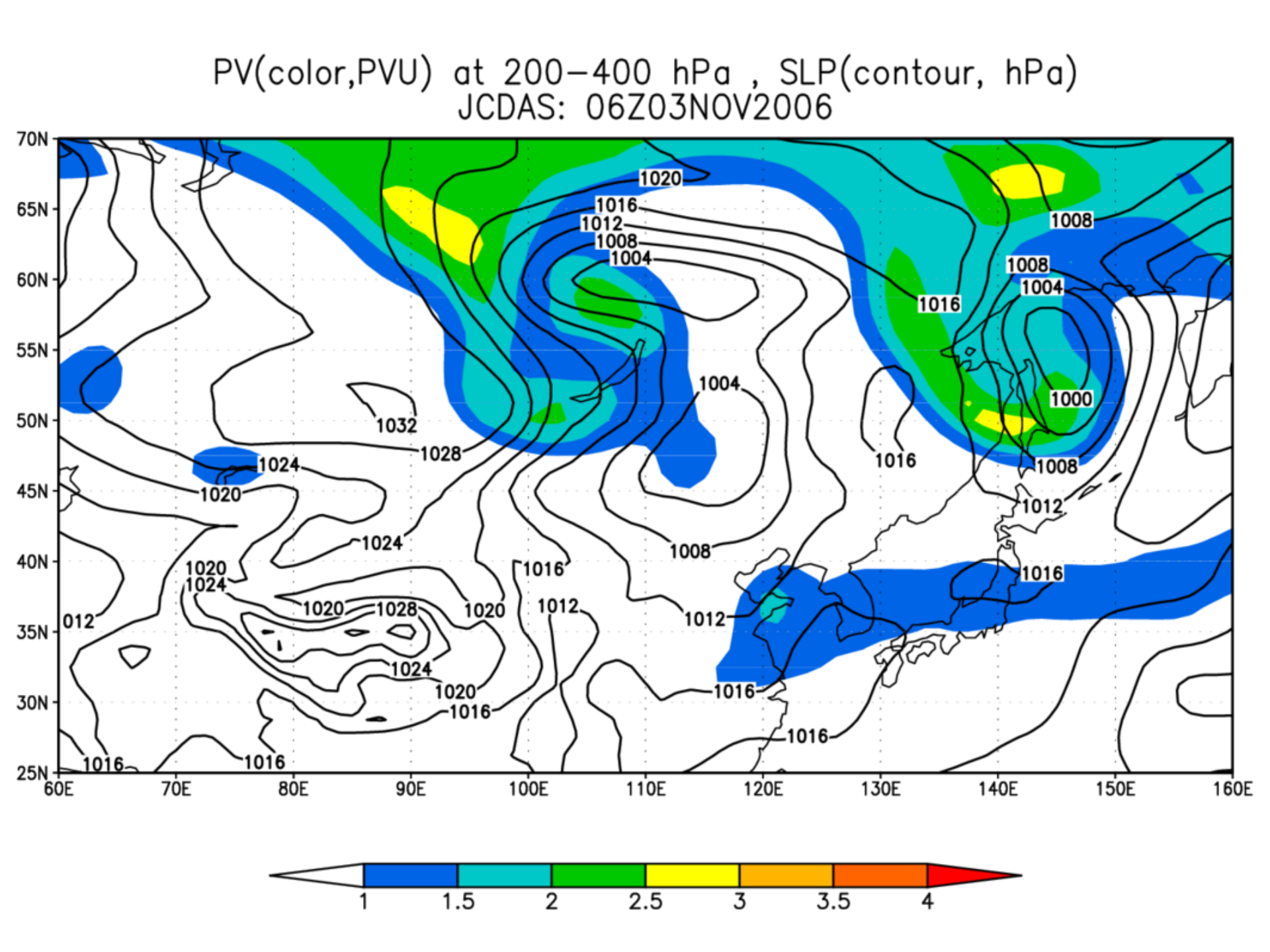


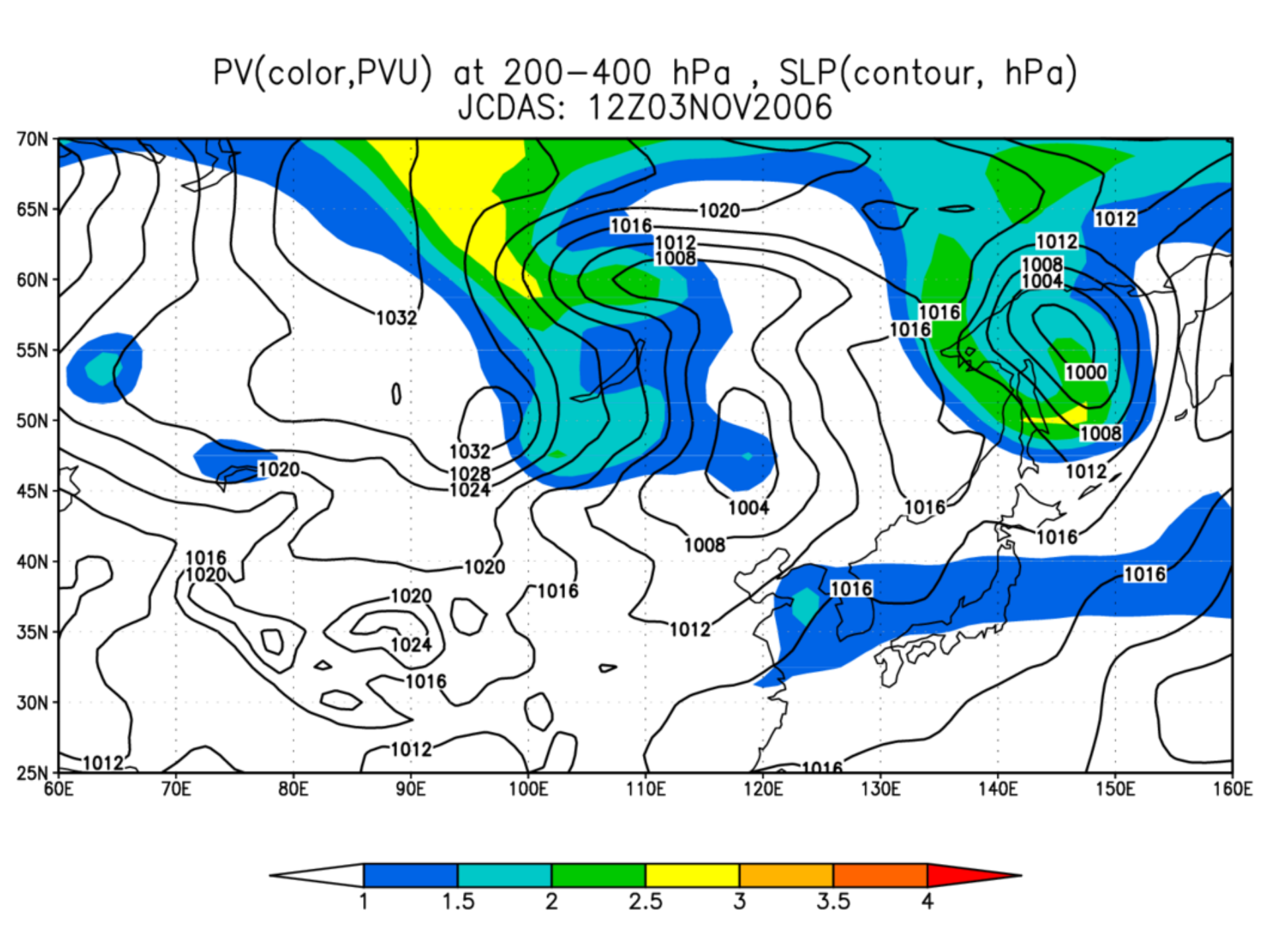

PV(color,PVU) at 200–400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 06Z02NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

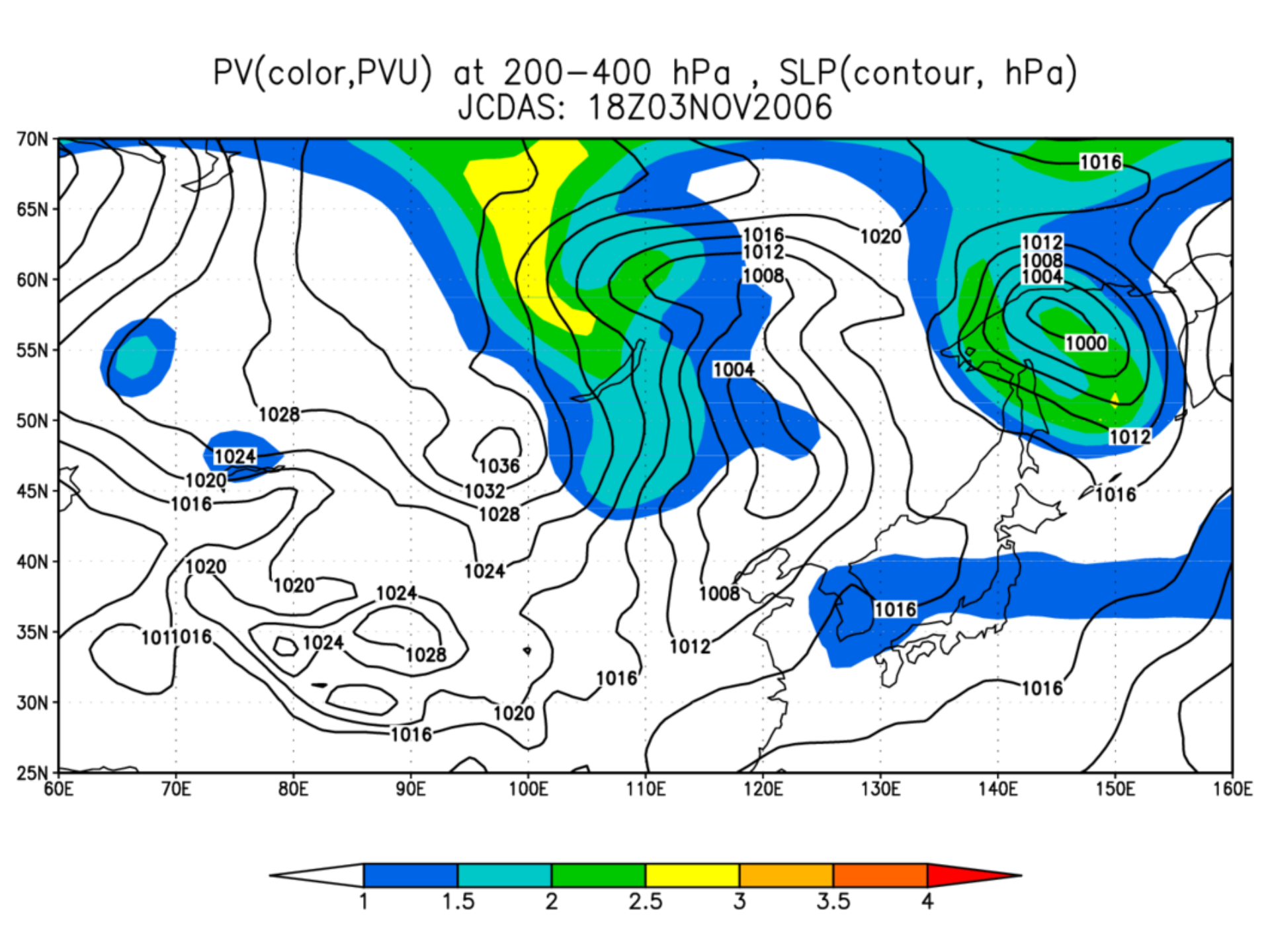

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 12Z02NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1016
1012
1008
1004
1000
996
1020
1024
1028
1012
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

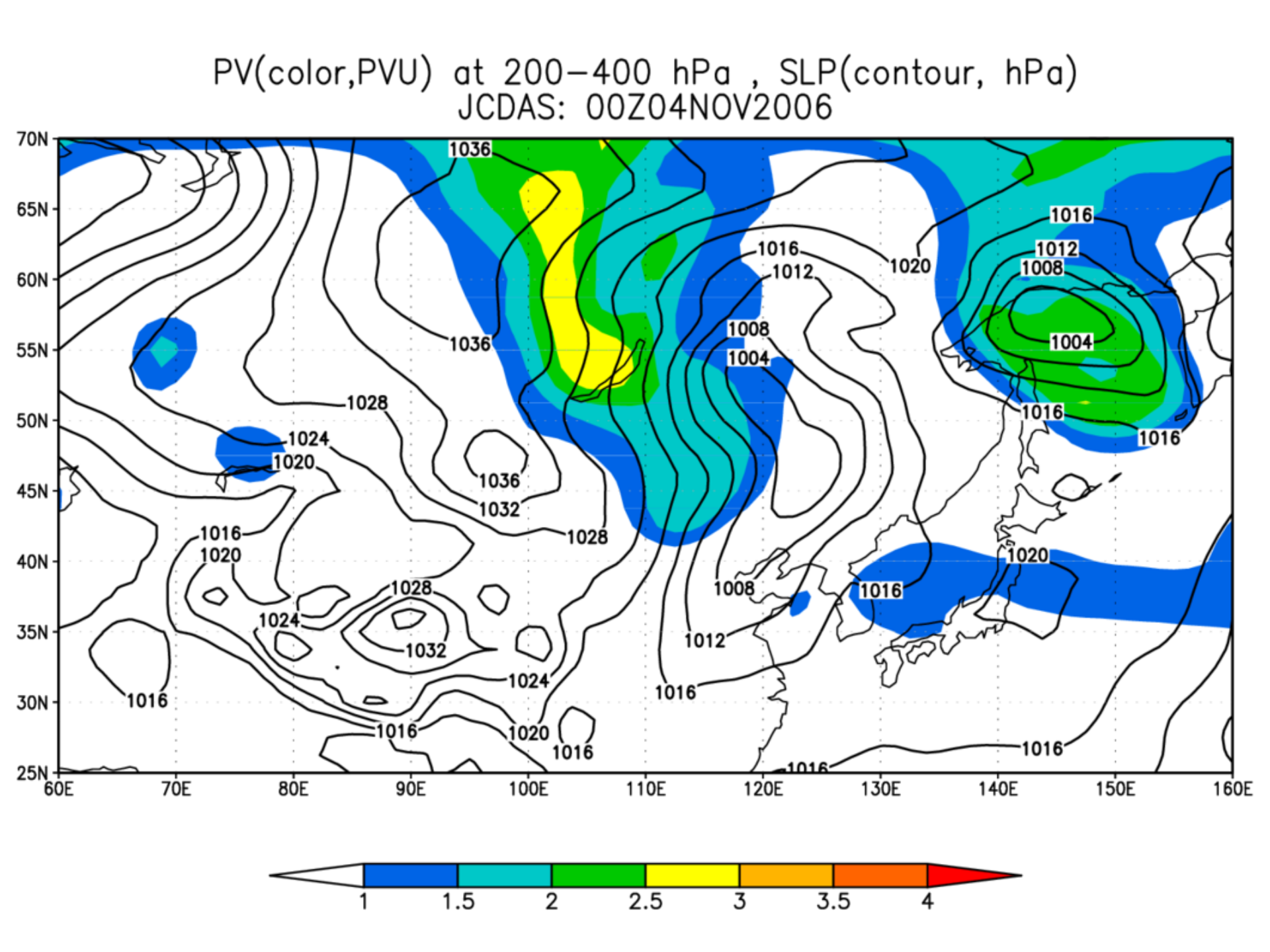

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 18Z02NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1016
1012
1008
1004
1024
996
1000
1028
1020
1032
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

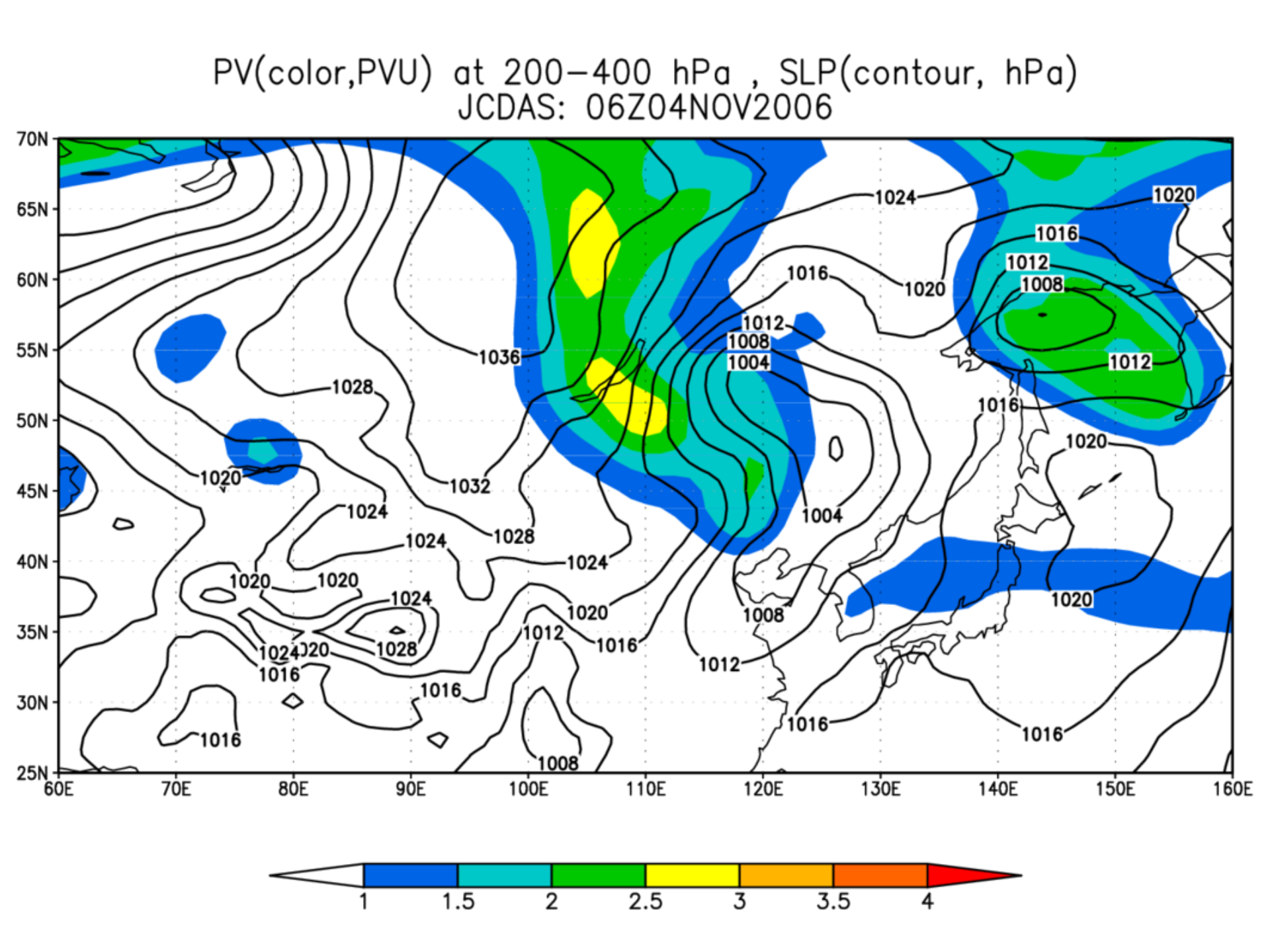

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 00Z03NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1020
1016
1012
1008
1004
1000
1028
1024
1032
1036
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

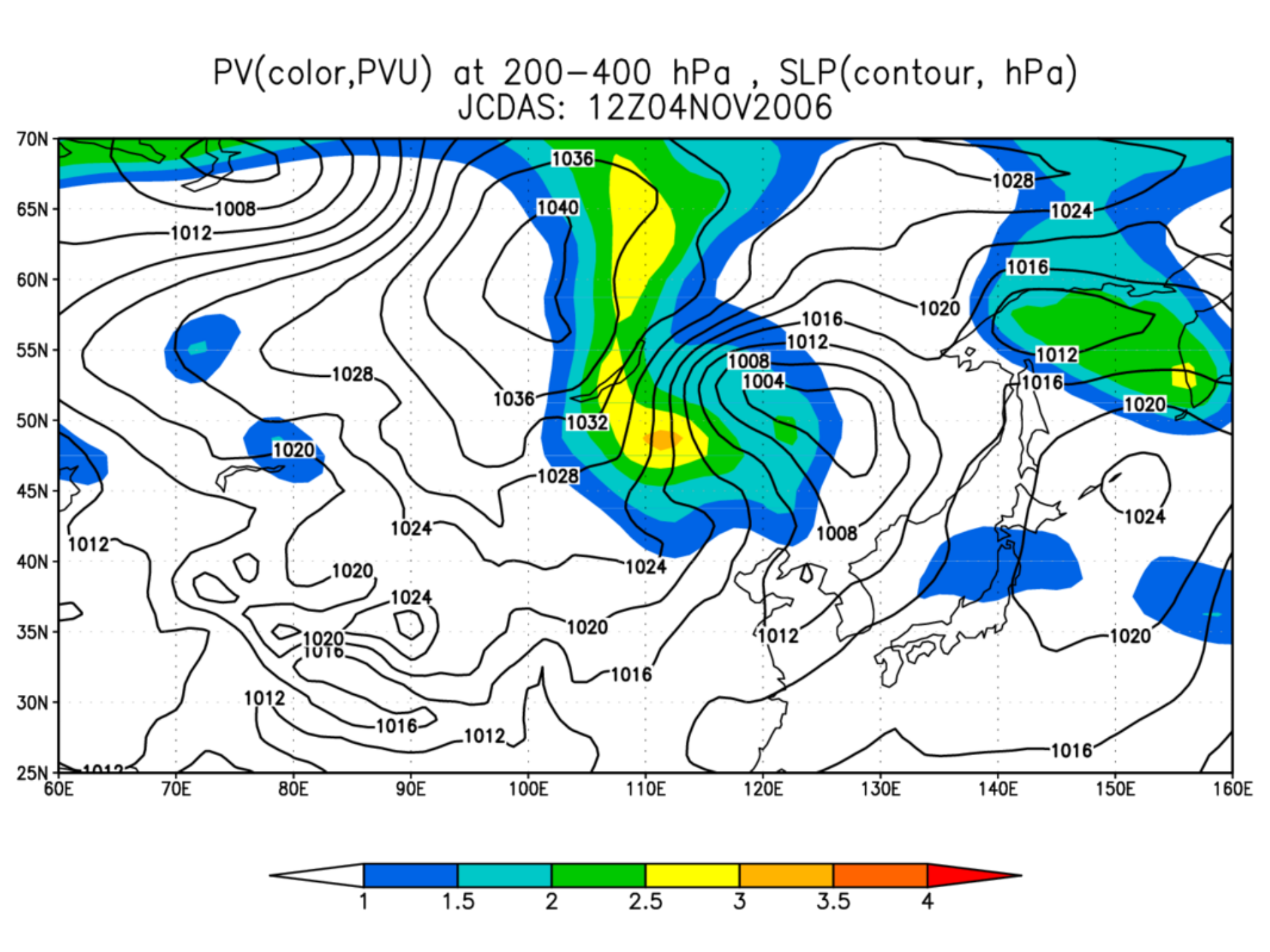

PV(color,PVU) at 200–400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 06Z03NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1020
1016
1012
1008
1004
1000
1032
1028
1024
012
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

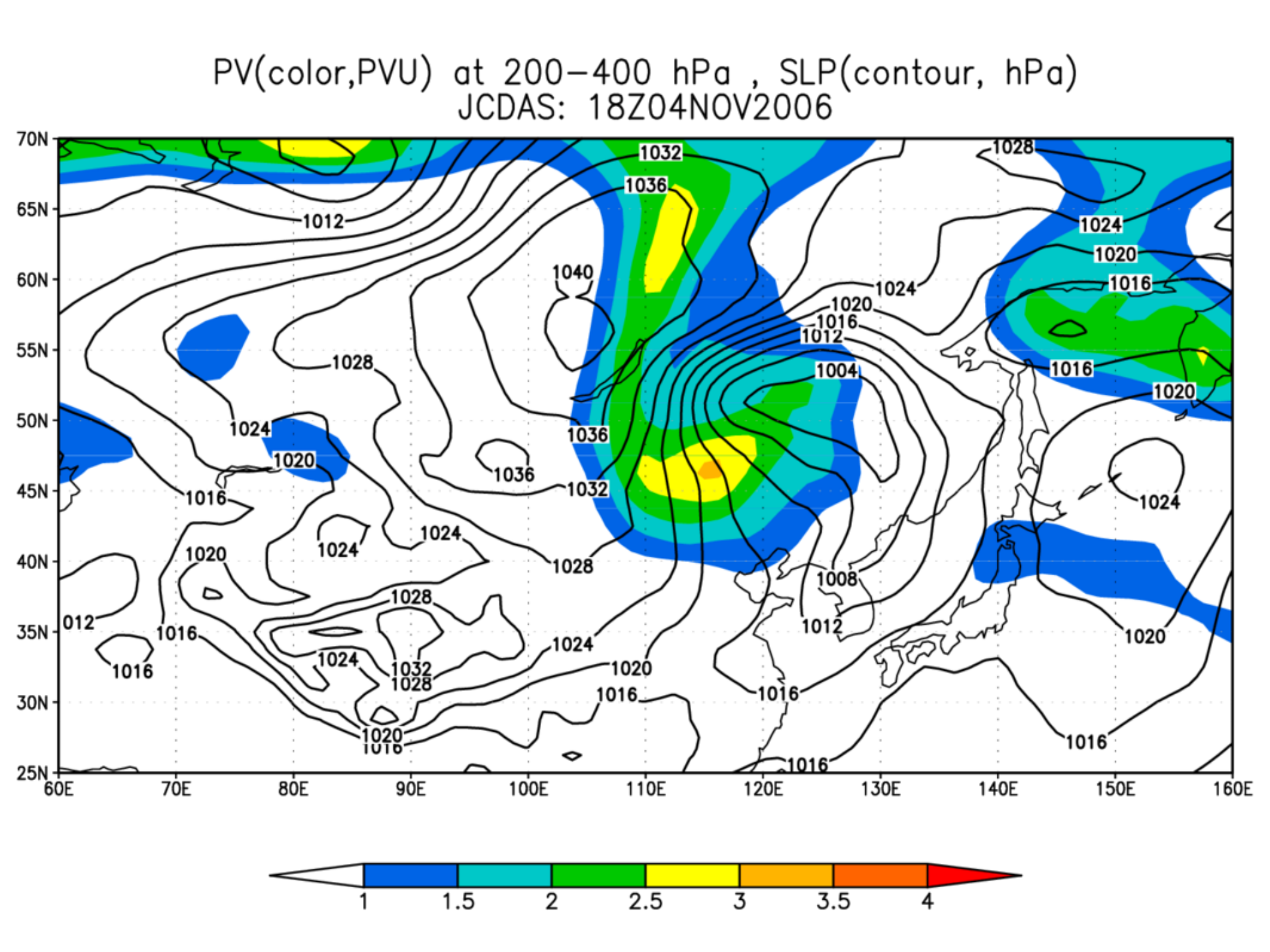

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 12Z03NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1020
1016
1012
1008
1004
1000
1032
1028
1024
1012
1008
1004
1016
1016
1000
1008
1012
1020
1016
1020
1020
1016
1020
1024
1016
1012
1012
1008
1016
1016
1016
1016
1016
1012
1016
1012
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

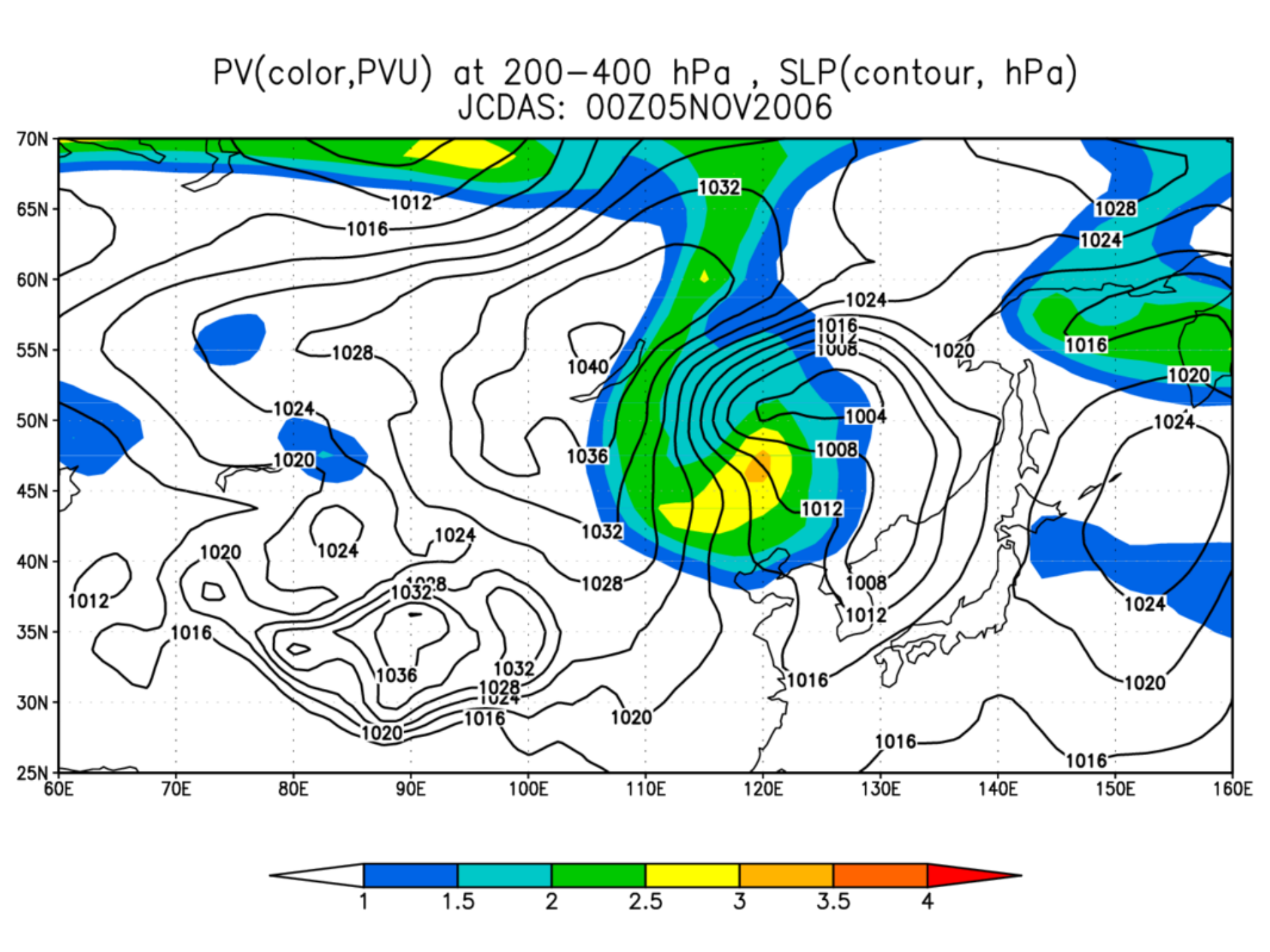

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 18Z03NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1016
1020
1012
1008
1004
1000
1028
1024
1036
1032
1011016
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

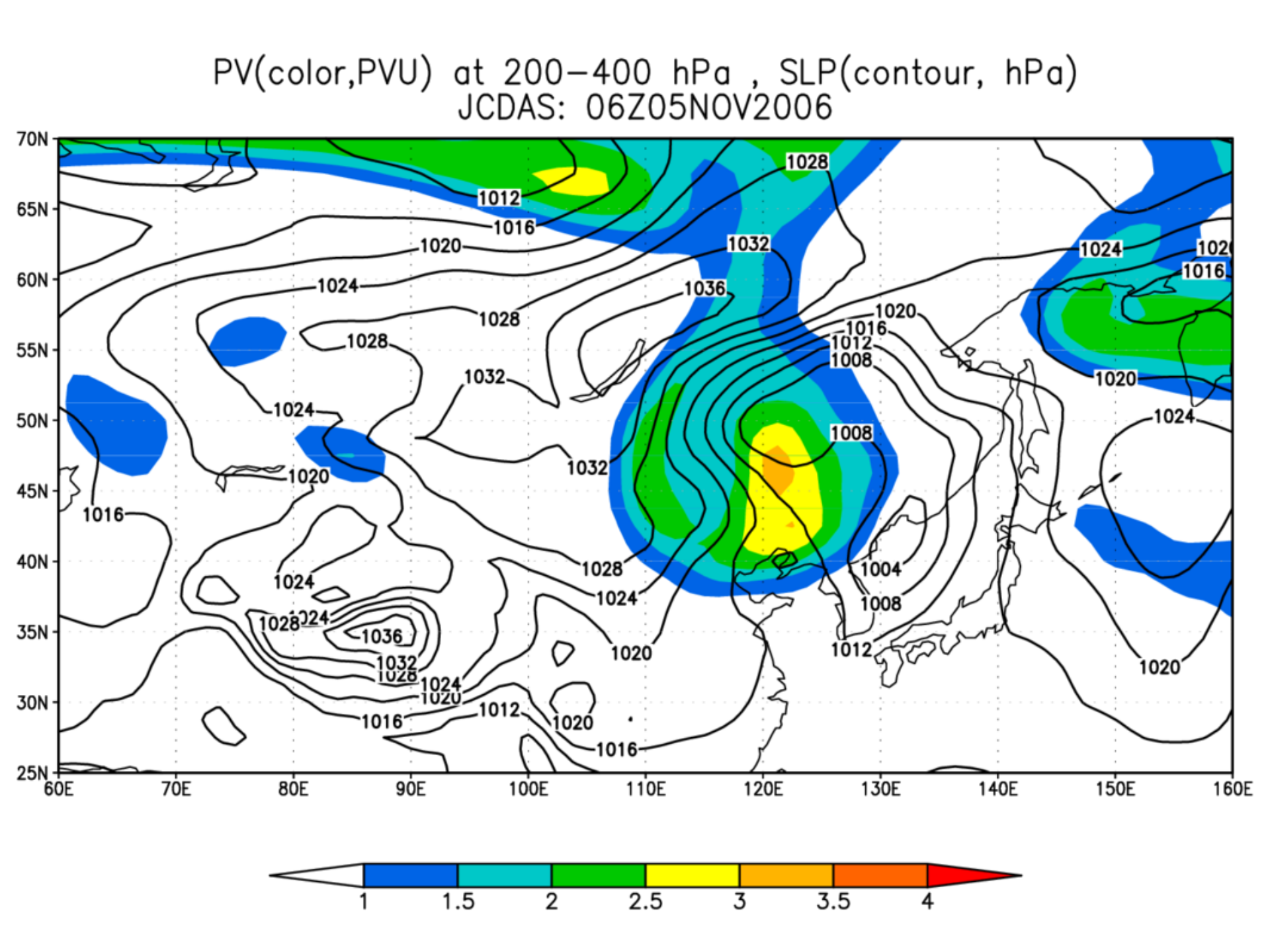

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 00Z04NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1036
1016
1012
1020
1008
1004
1028
1024
1032
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

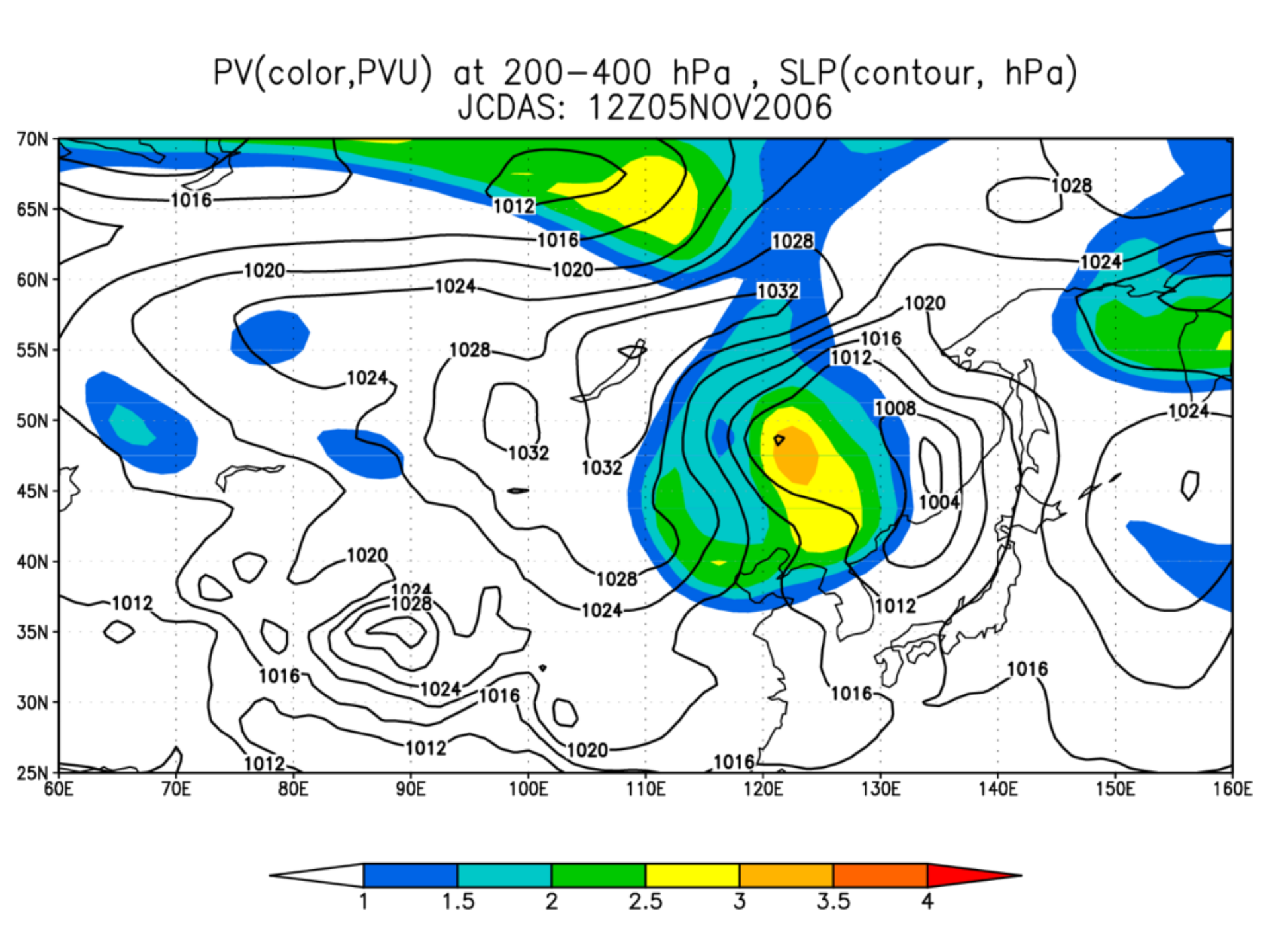

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 06Z04NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1036
1032
1028
1024
1020
1016
1012
1008
1004
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

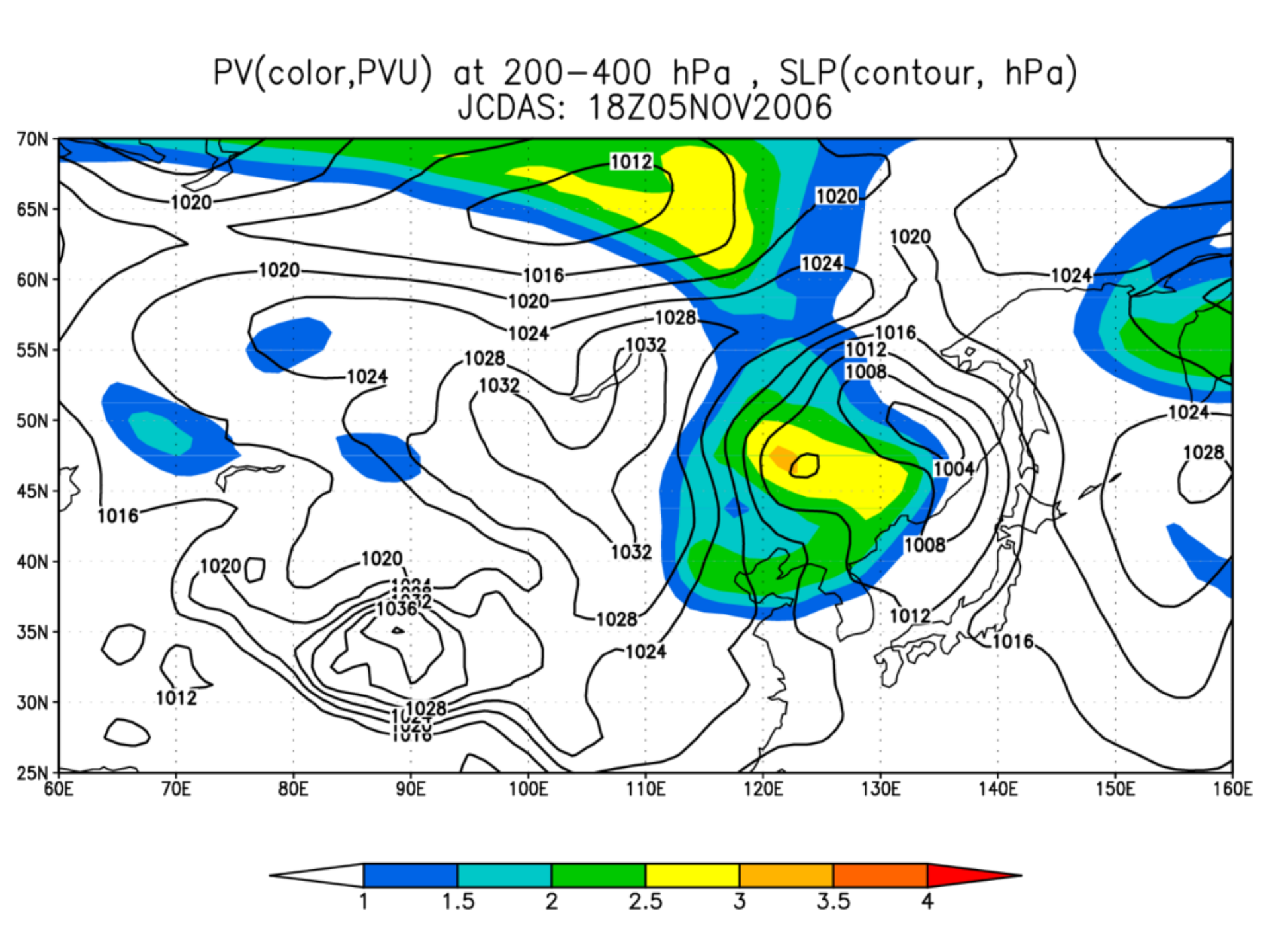

PV(color,PVU) at 200–400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 12Z04NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1036
1028
1008
1040
1024
1012
1016
1020
1004
1032
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

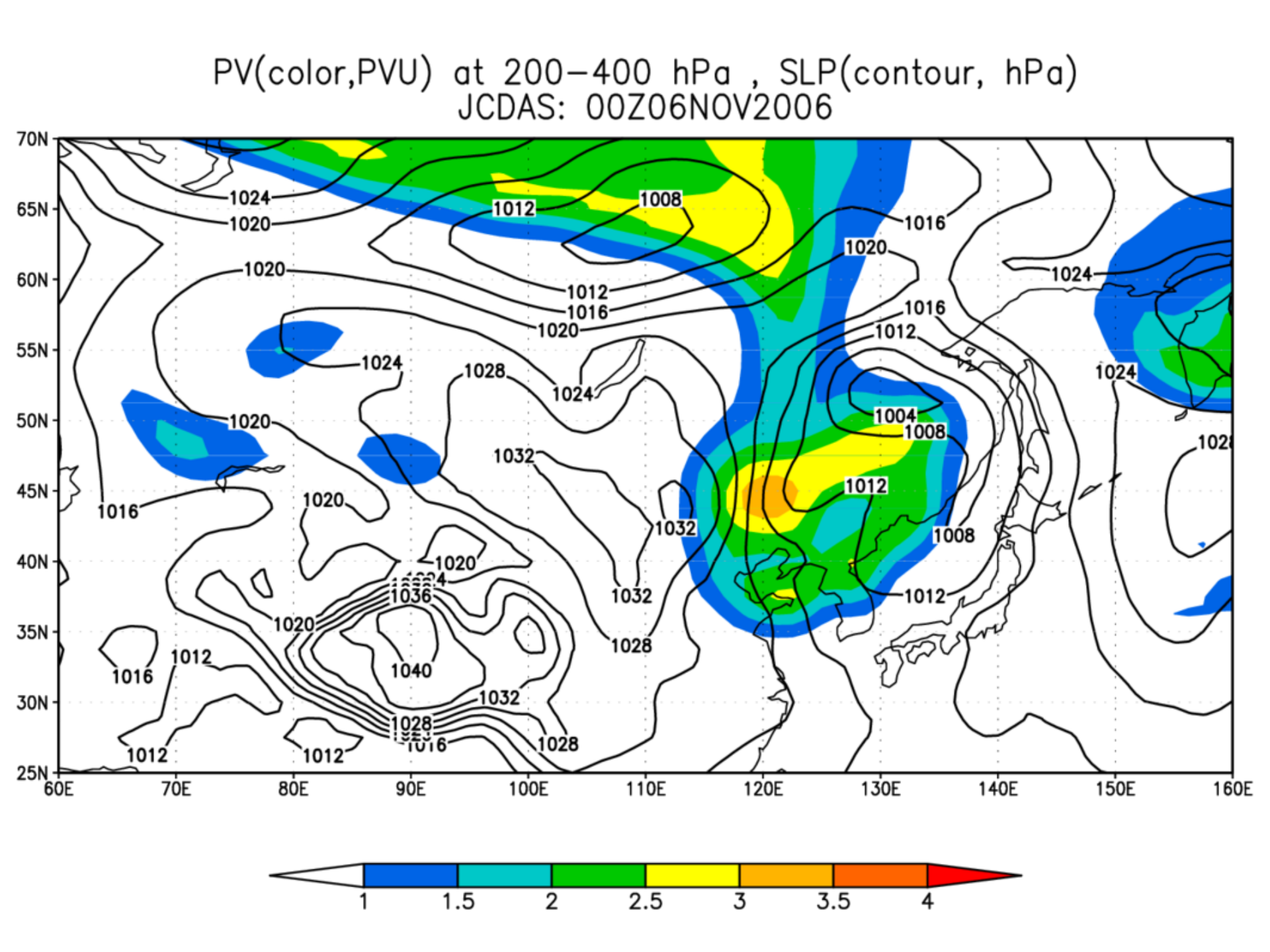

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 18Z04NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

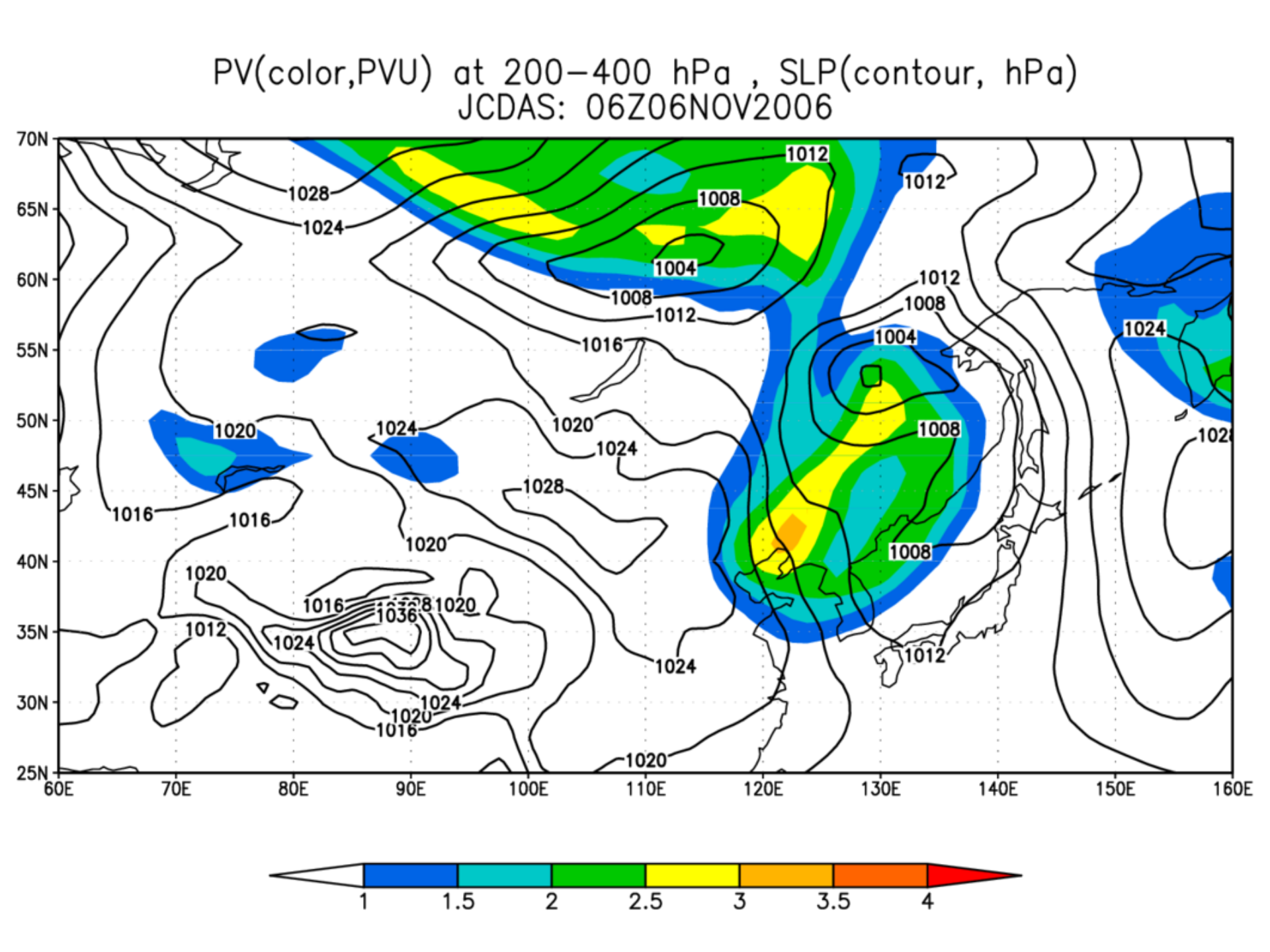

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 00Z05NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

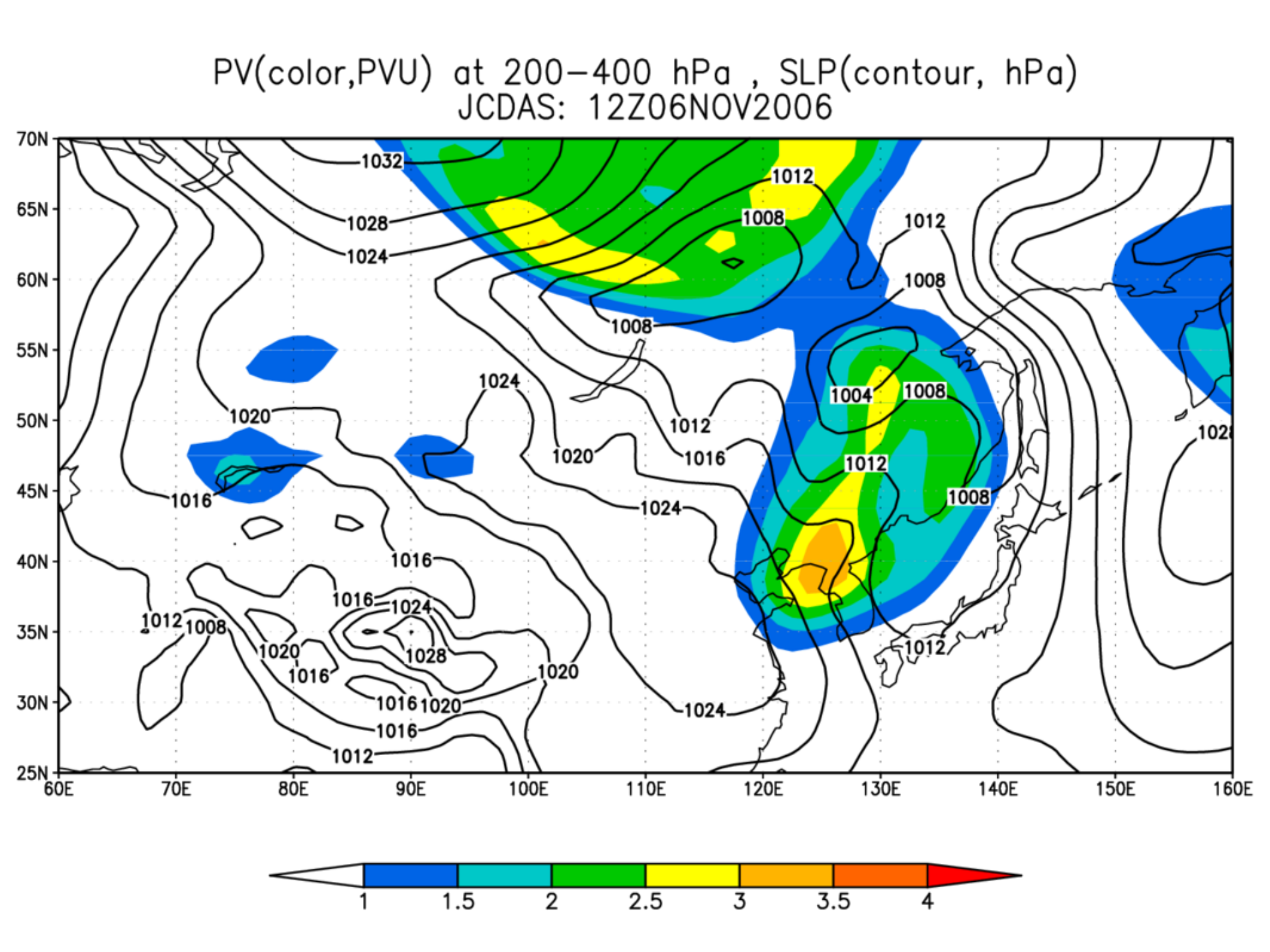

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 06Z05NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

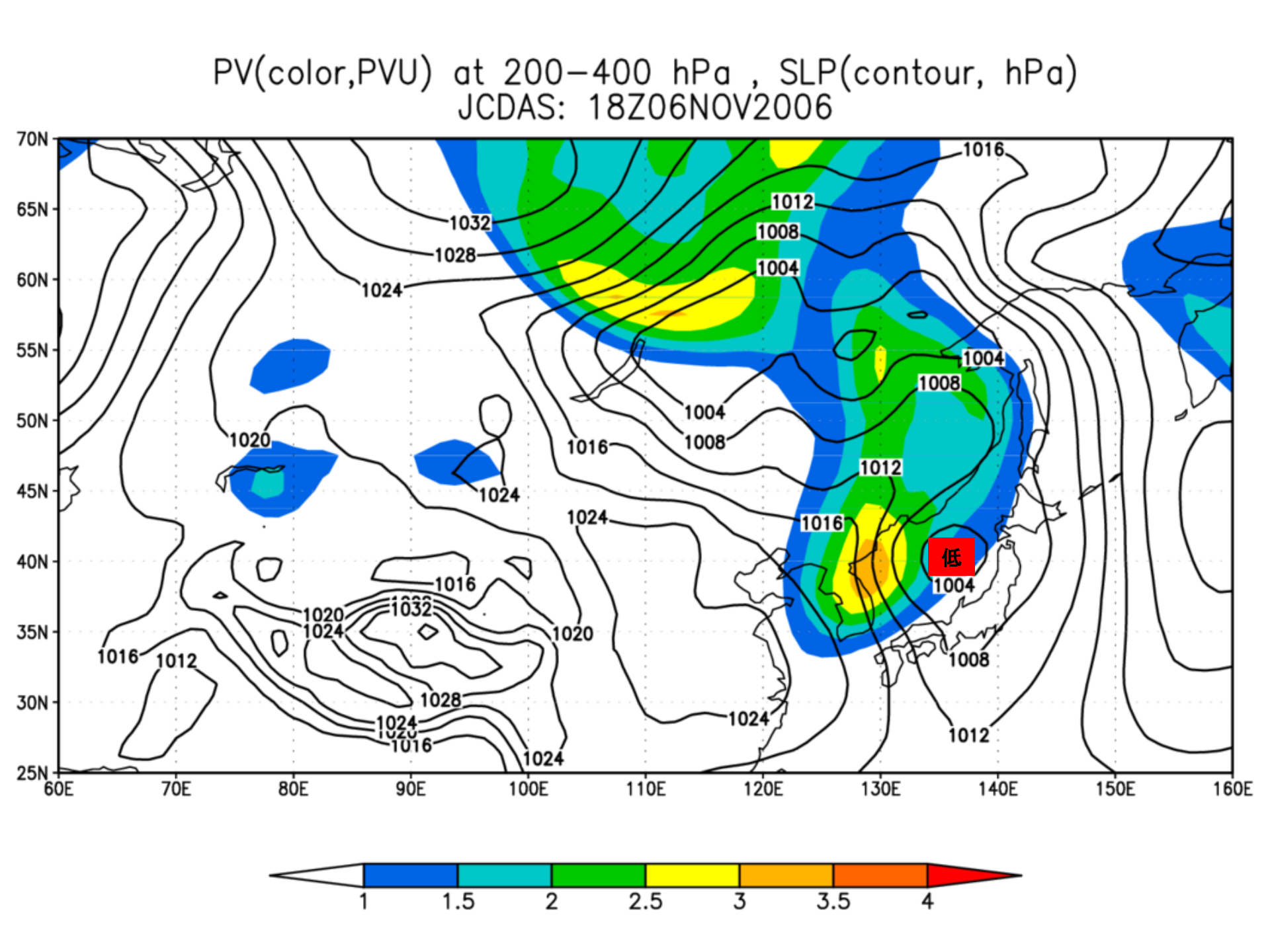

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 12Z05NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1016
1012
1028
1024
1020
1032
1008
1004
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

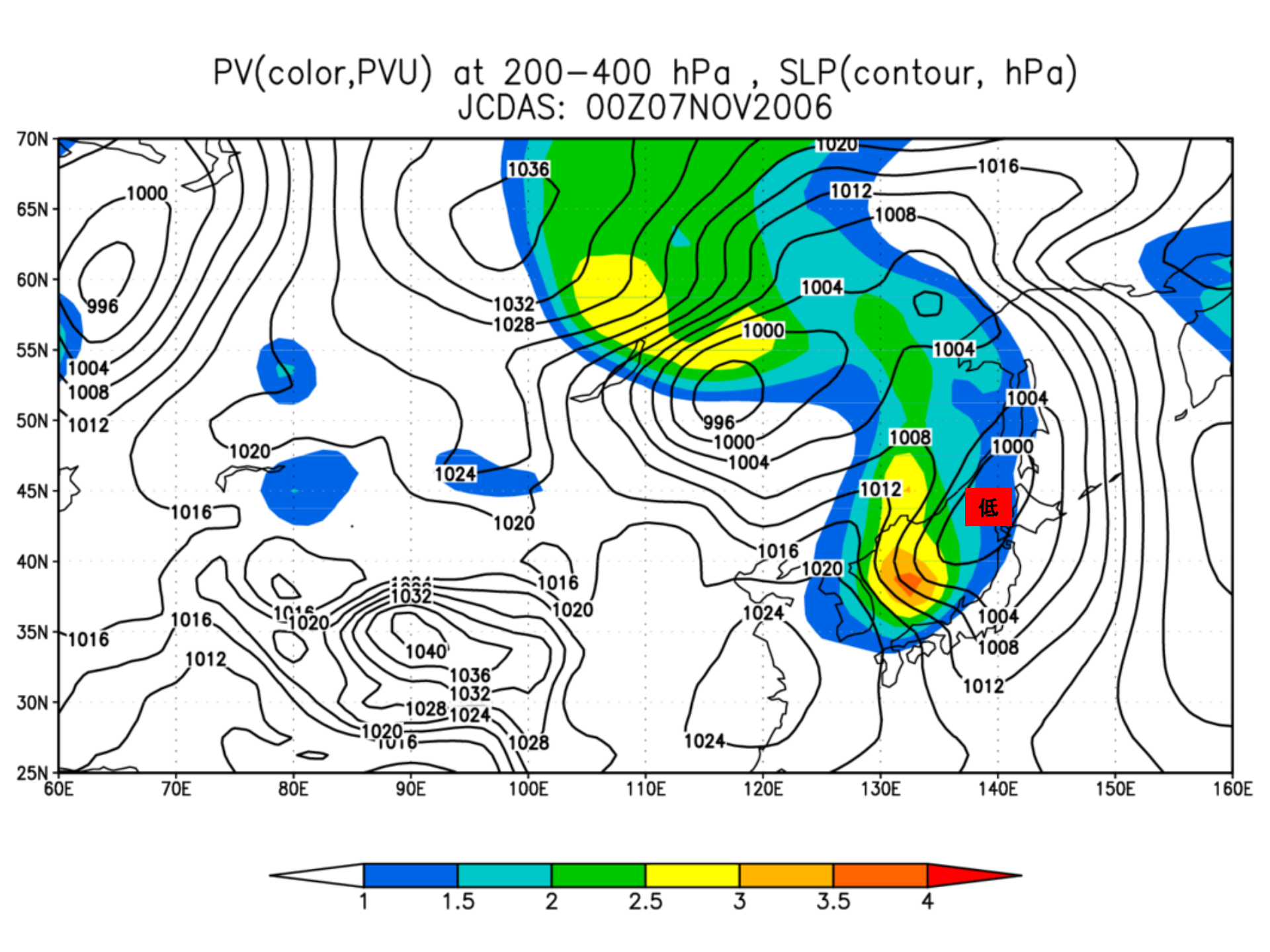

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 18Z05NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1012
1020
1016
1024
1028
1032
1008
1004
1036
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

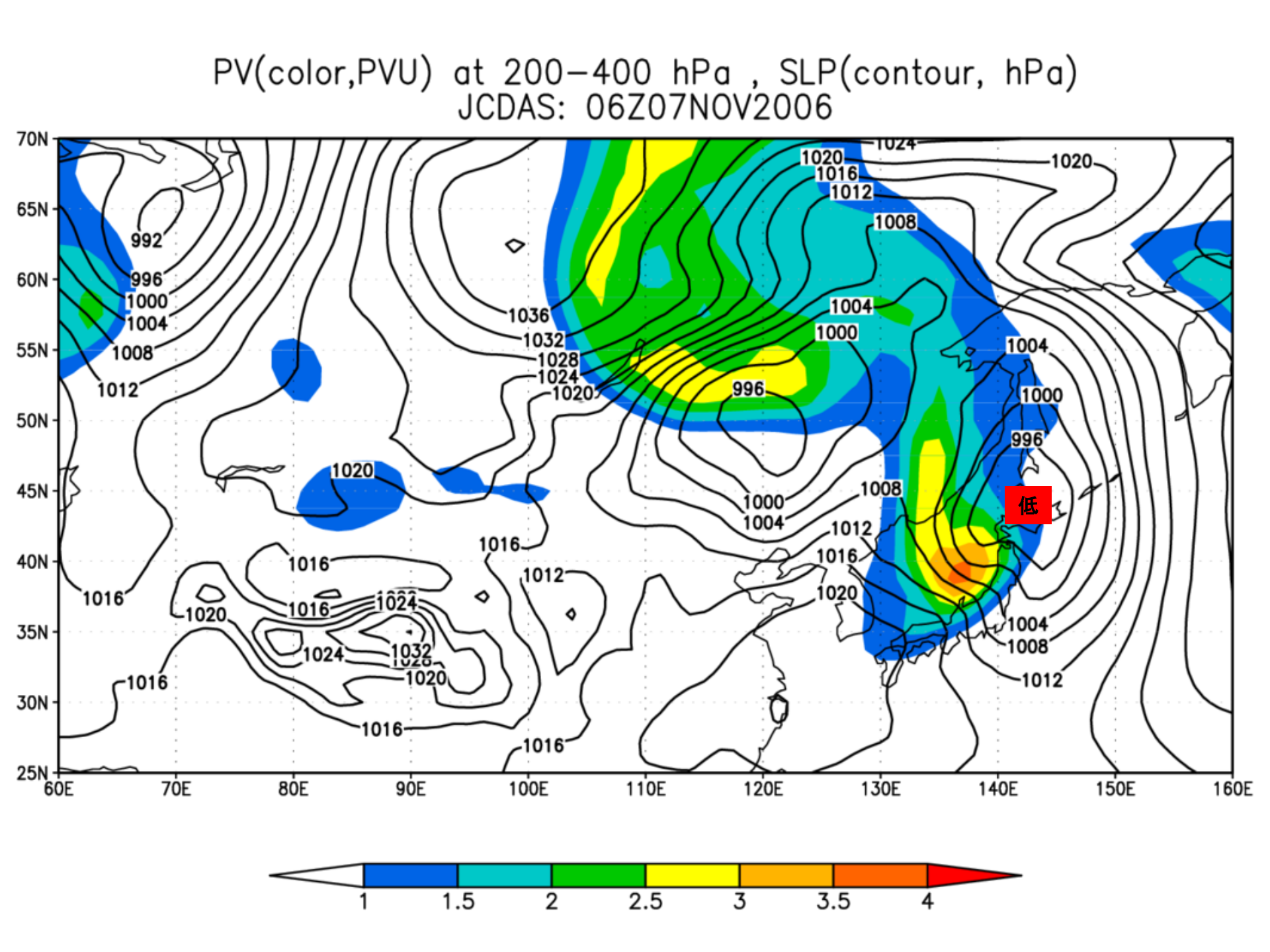

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 00Z06NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1024
1020
1012
1008
1016
1004
1028
1032
1036
1040
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4


PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 06Z06NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1028
1024
1012
1008
1004
1016
1020
1036
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

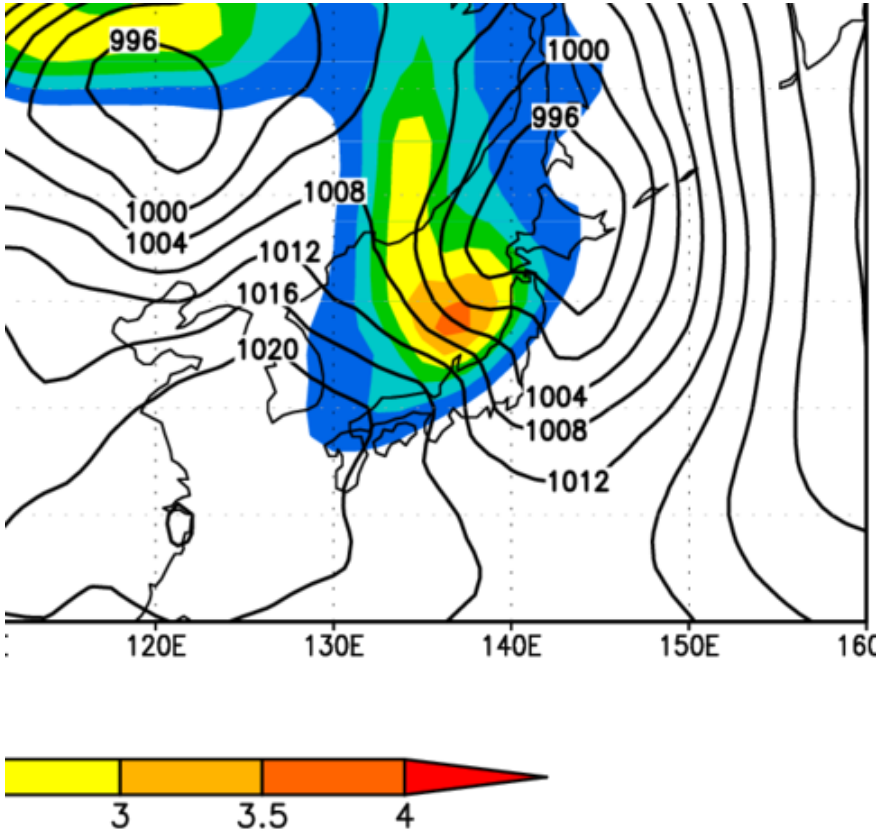

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 12Z06NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1032
1028
1024
1020
1016
1012
1008
1004
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

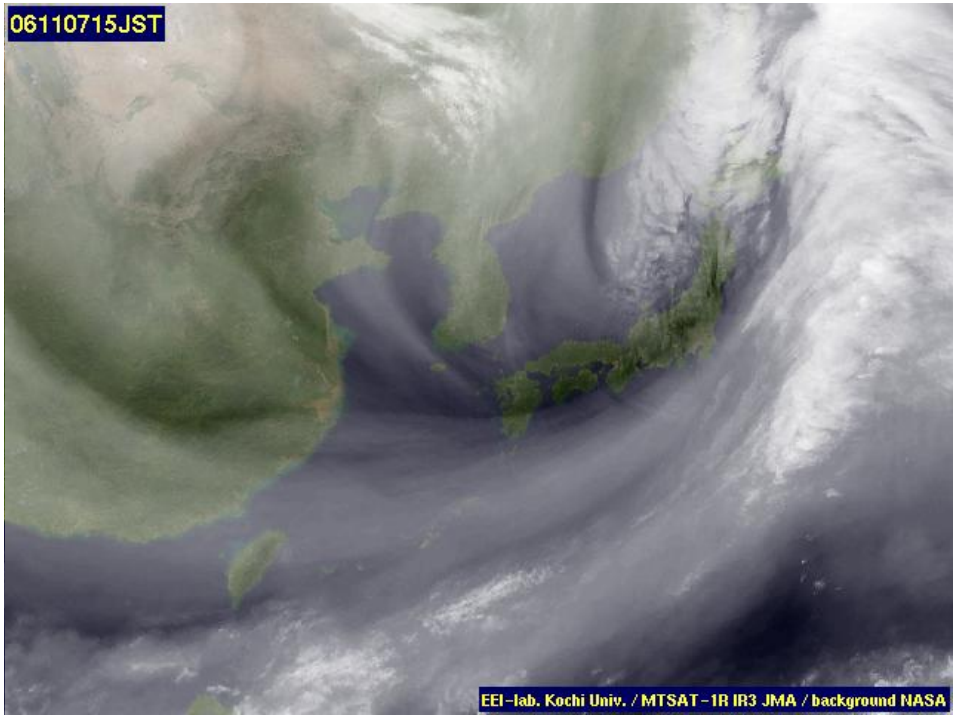

PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 18Z06NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
1016
1012
1008
1004
1032
1028
1024
1020
低
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4


PV(color,PVU) at 200-400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 00Z07NOV2006
低
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

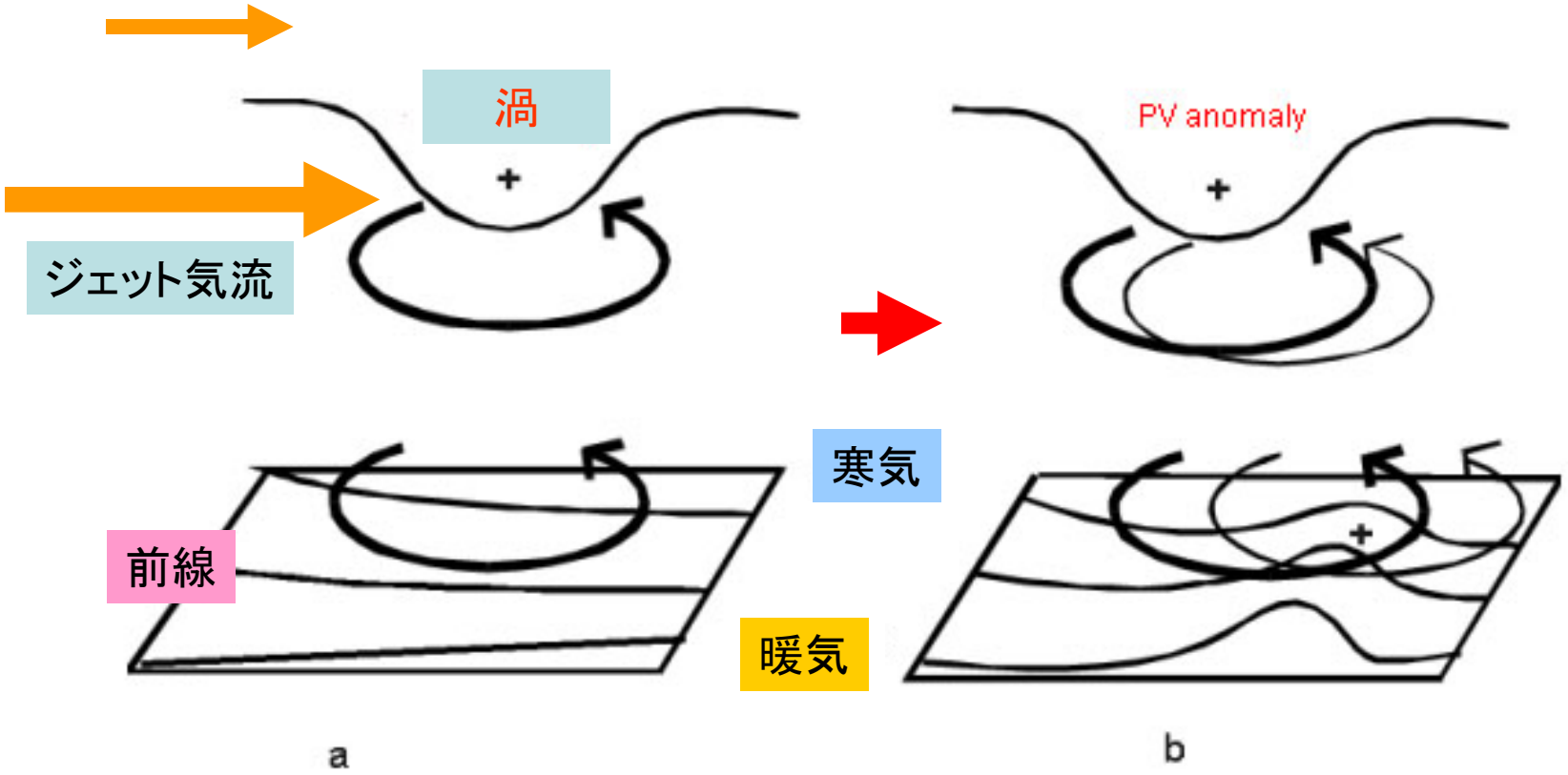

PV(color,PVU) at 200–400 hPa , SLP(contour, hPa)
JCDAS: 06Z07NOV2006
70N
65N
60N
55N
50N
45N
40N
35N
30N
25N
60E
70E
80E
90E
100E
110E
120E
130E
140E
150E
160E
992
996
1000
1004
1008
1012
1016
1020
1024
1028
1032
1036
低
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

上空の渦って見える？


996
1000
996
1000
1004
1008
1012
1016
1020
1004
1008
1012
120E
130E
140E
150E
3
3.5
4


06110715JST
EEI-lab. Kochi Univ. / MTSAT-1R IR3 JMA / background NASA

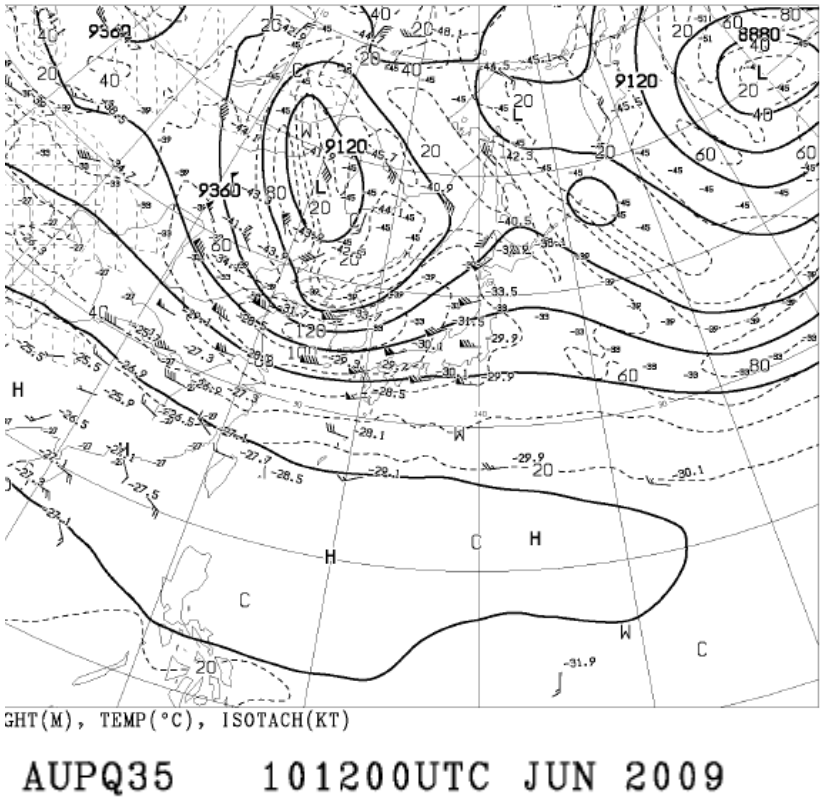
上空の渦が地上の低気圧を発達させる



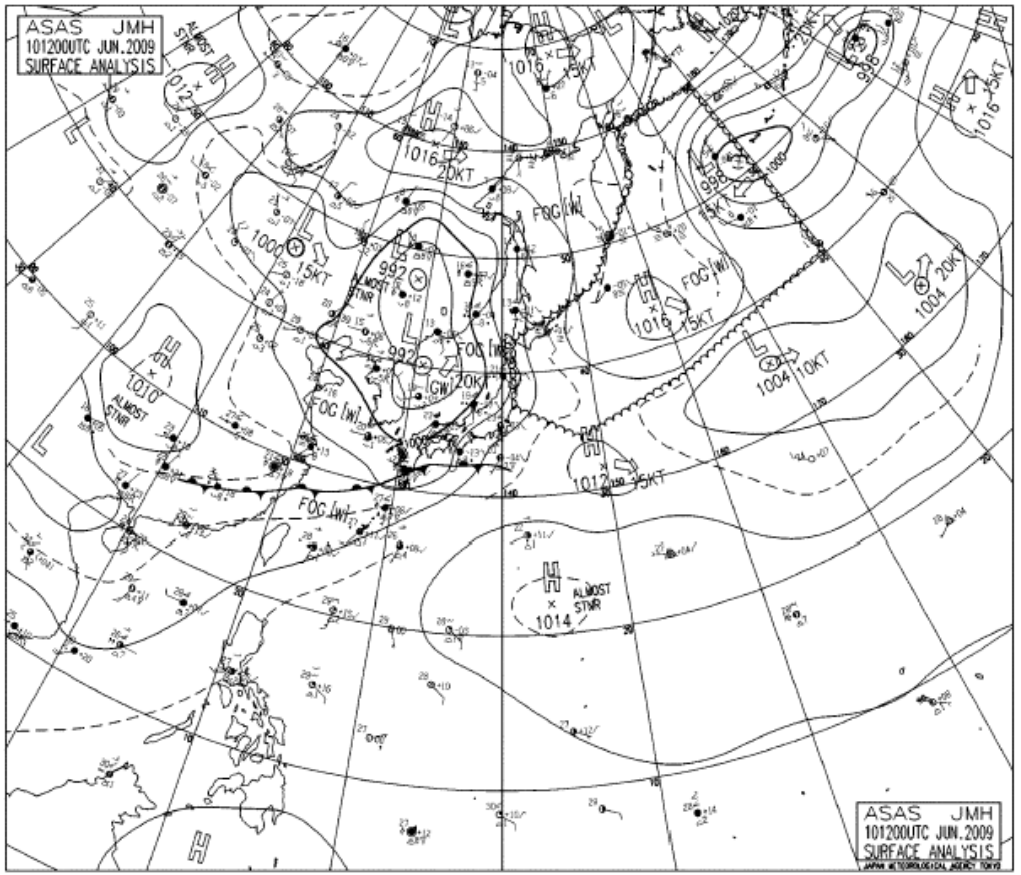
- 「上空の渦と地上低気圧とのカップリング」という現象
  - Hoskins et al. (1985)

ある日の天気図

9000m上空



地上



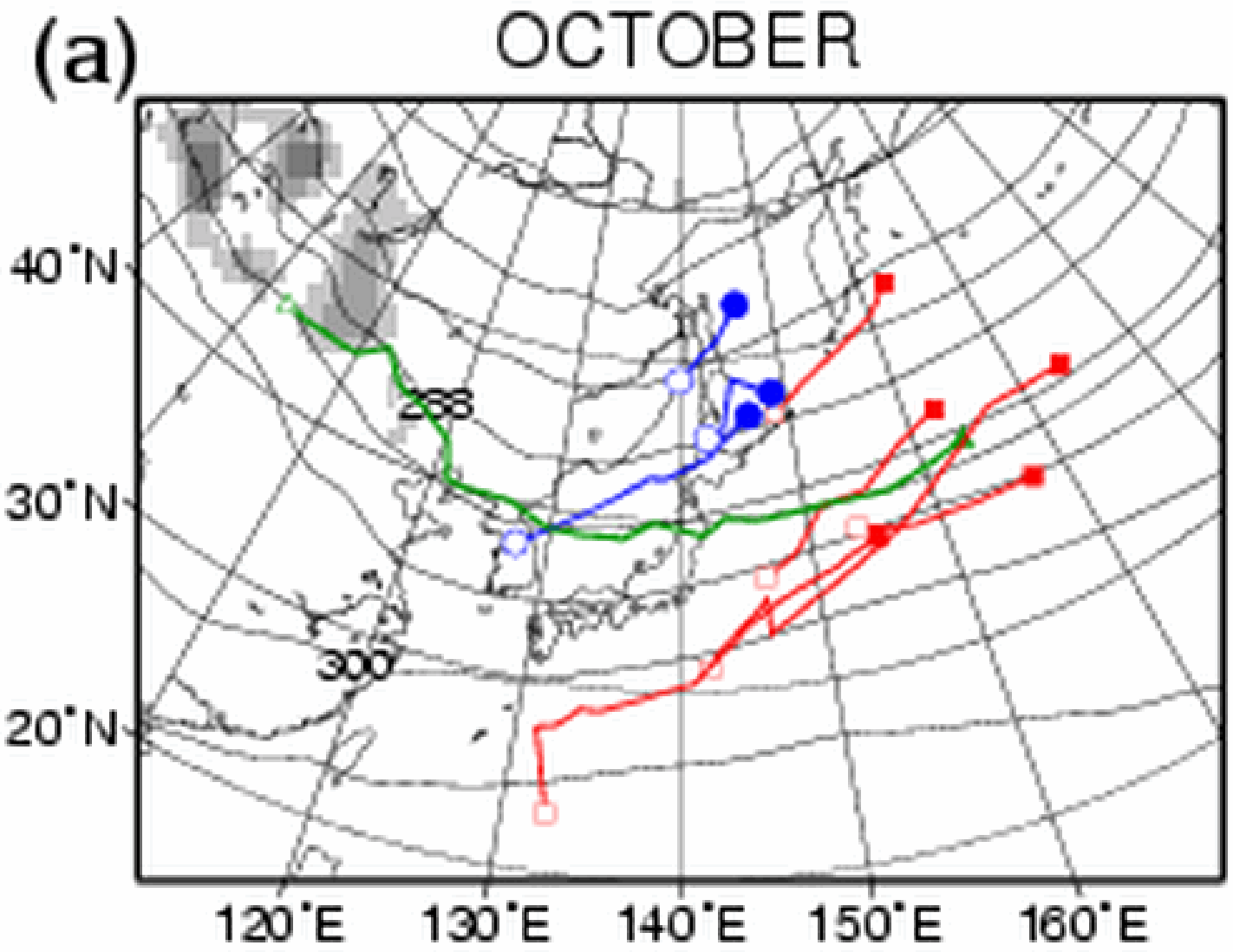
- 上空に渦がやってきていて、地上にも低気圧が存在
- でも、そんなに発達してない。**地上の前線が弱いから**

つまり、爆弾低気圧とは

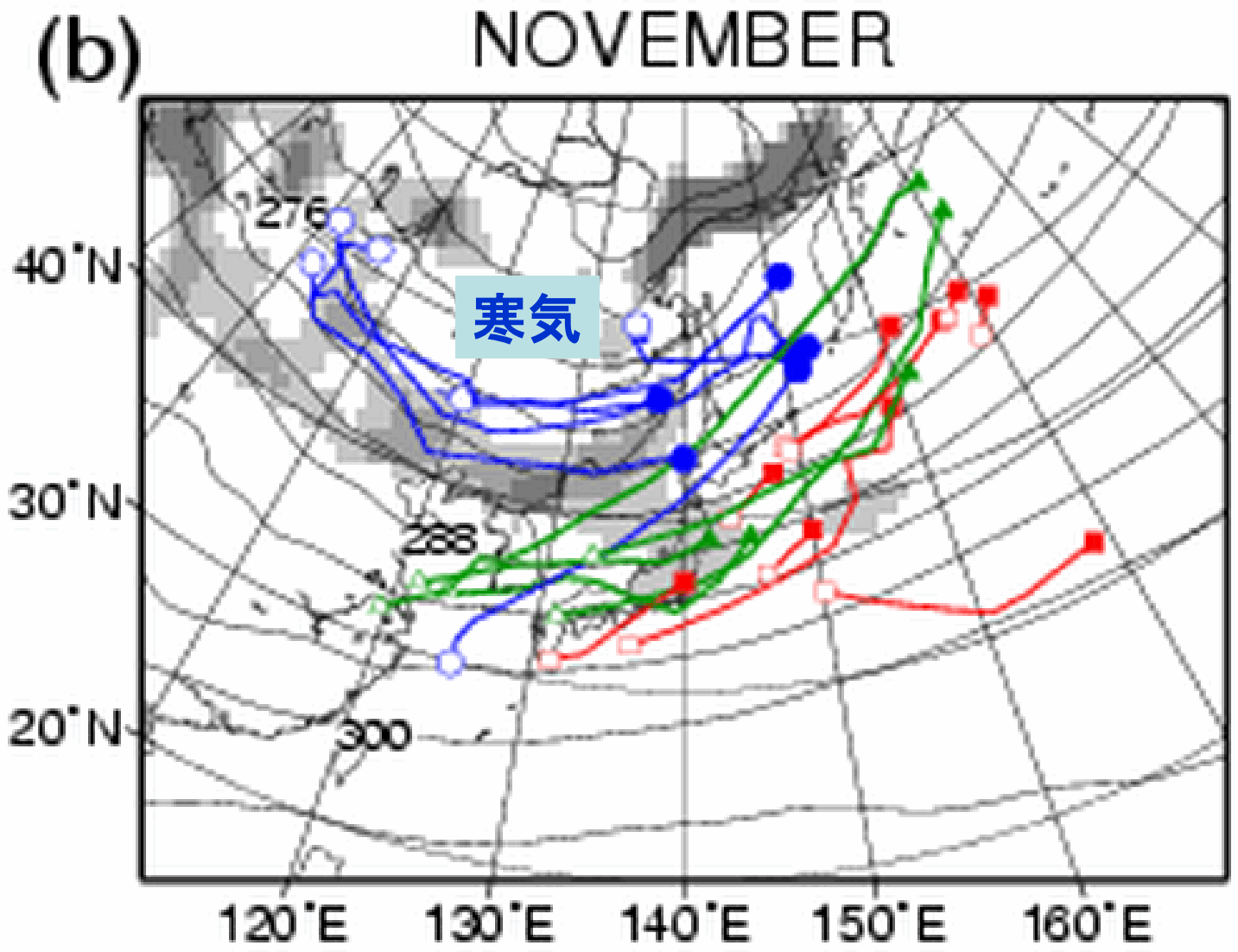
- 上空の渦と地上の前線とが偶然出会って、一気に盛り上がる、情熱的な低気圧。

- 地上の前線だけでも、上空の渦だけでもないハイブリッドエンジン型低気圧

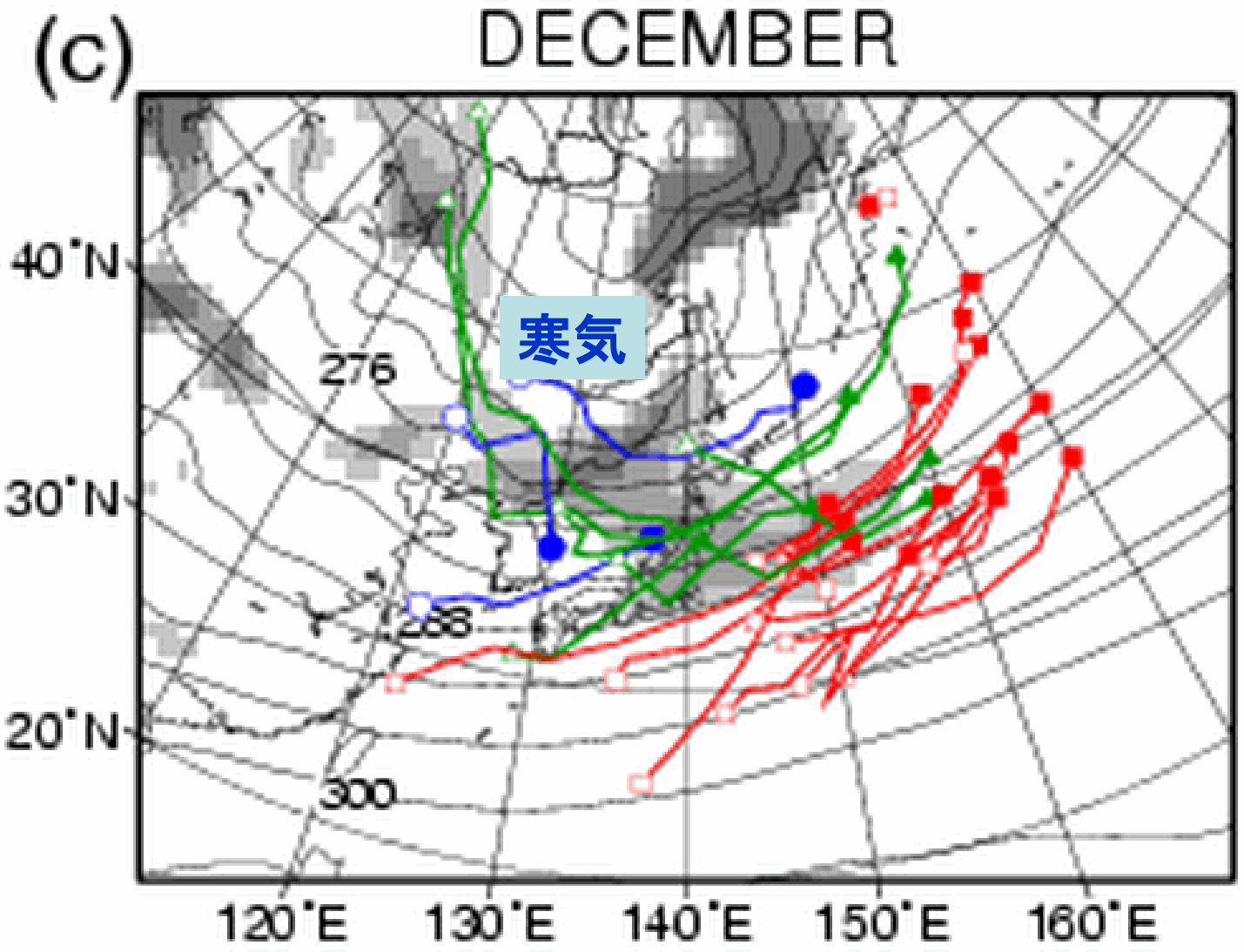
移動経路は出会いの場で決まる

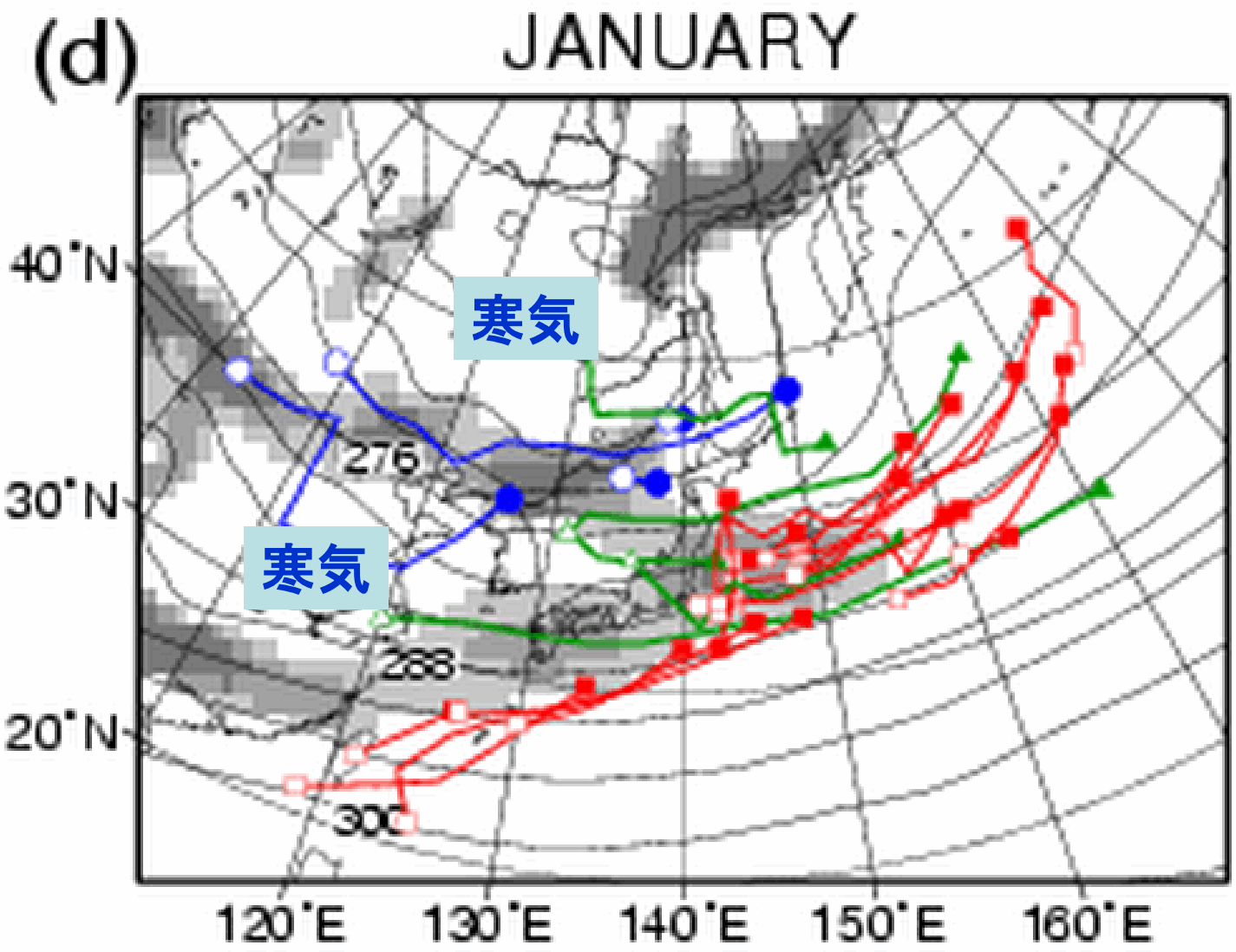


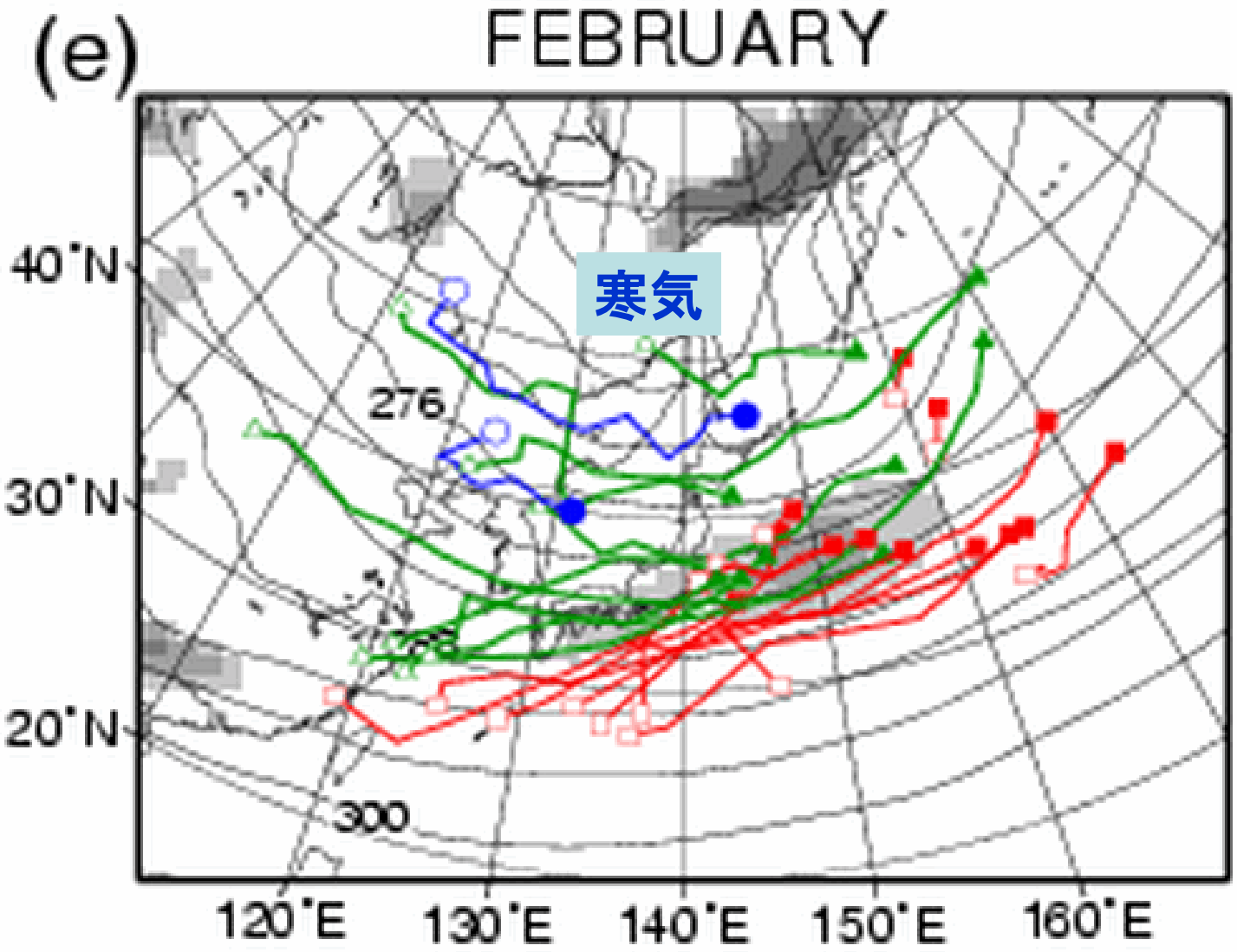
冬に向けて大陸から寒気が南下

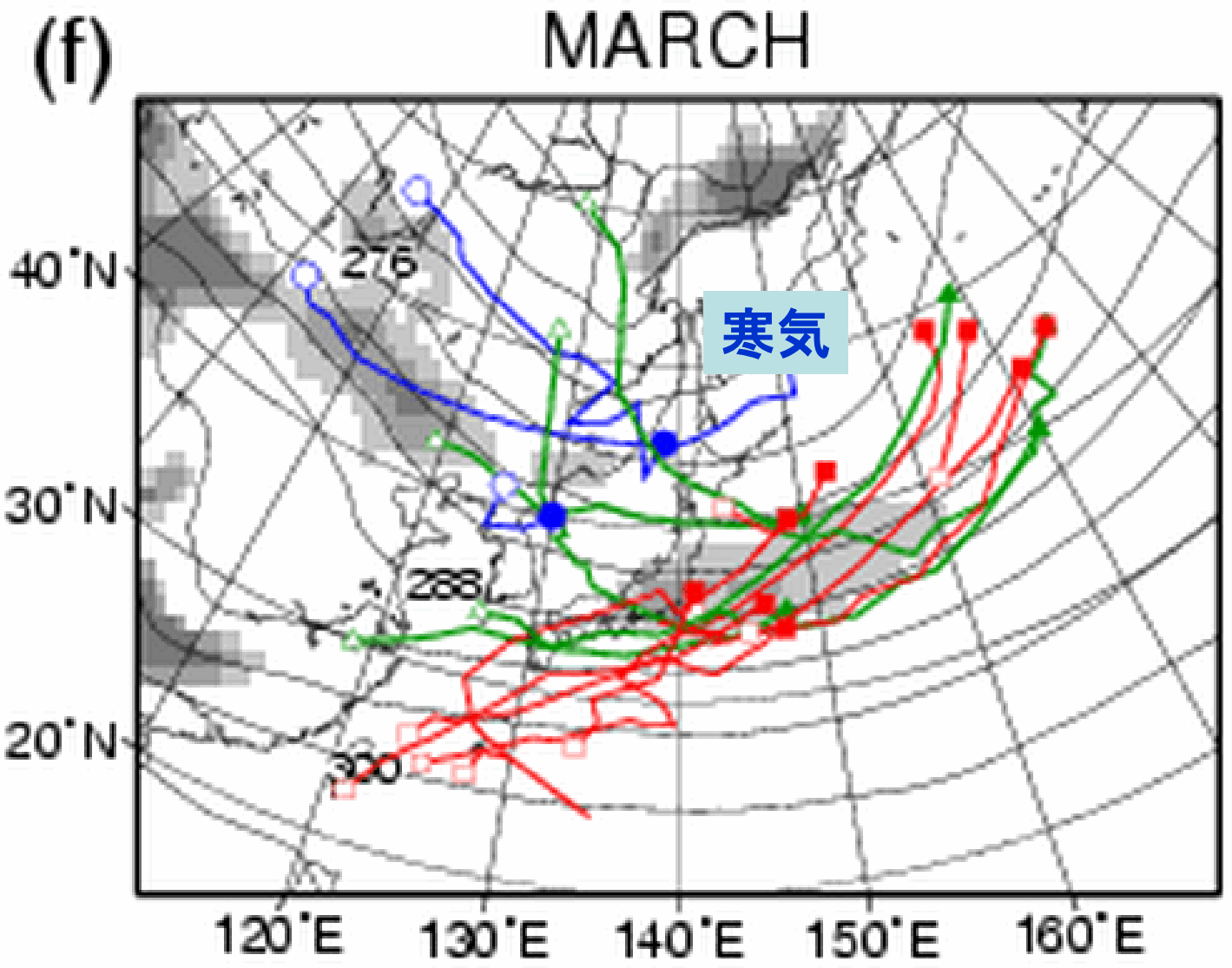


それにつれて、低気圧の経路も南下




(d)
JANUARY
40°N
30°N
20°N
120°E
130°E
140°E
150°E
160°E
寒気
寒気
276
288
300


(e)
FEBRUARY
寒気
276
300
40°N
30°N
20°N
120°E
130°E
140°E
150°E
160°E

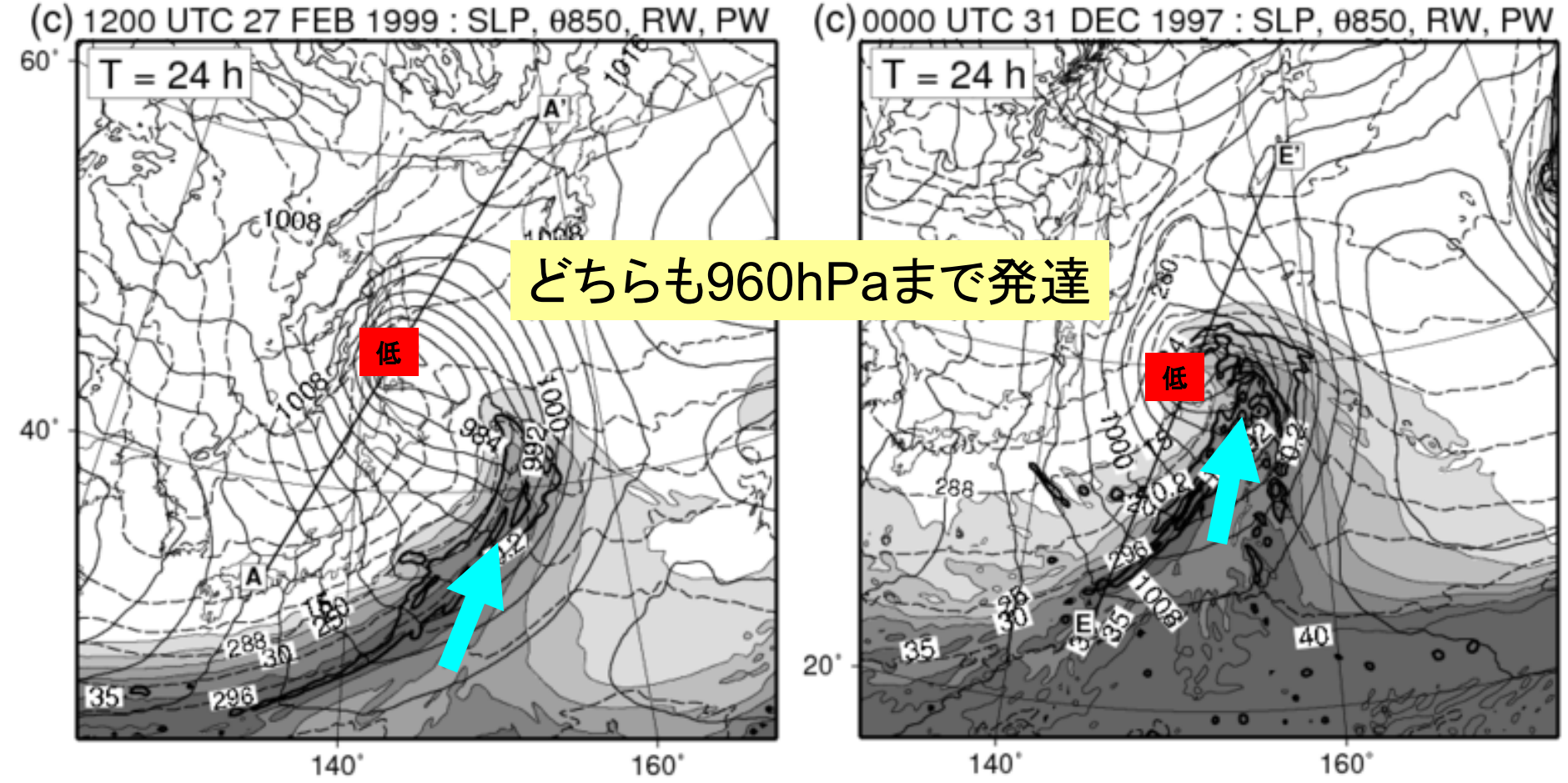

(f)
MARCH
40˚N
30˚N
20˚N
120˚E
130˚E
140˚E
150˚E
160˚E
276
288
300
寒気

発達の強さは何で決まる?

- オホーツク海・日本海上より太平洋上の方が急発達する。
- 出会ったときの条件が違うのでは。

オホーツク海・日本海

太平洋海洋起源



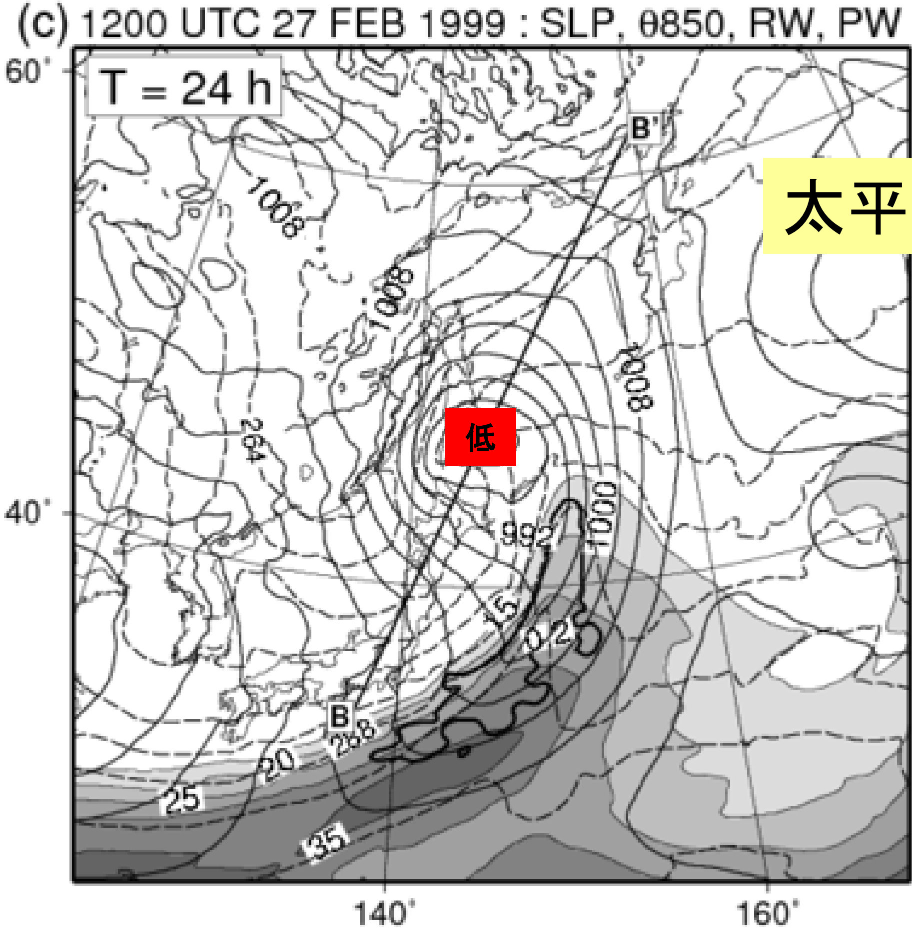
どちらも960hPaまで発達

- 太平洋タイプでは、低気圧の中心に湿った空気が流れ込んで、雨が降っている。→台風と同じエネルギー源

本当に水が必要?

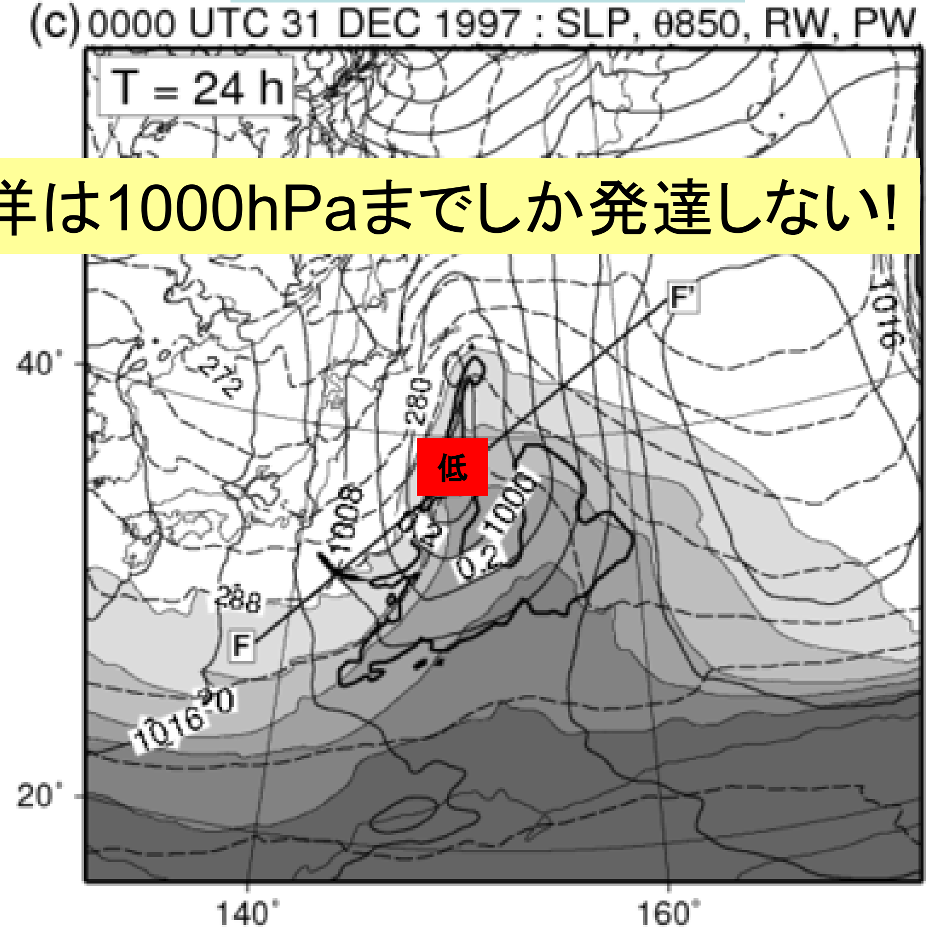
- 数値実験で、水蒸気の凝結熱をなくしてみると、

オホーツク海･日本海

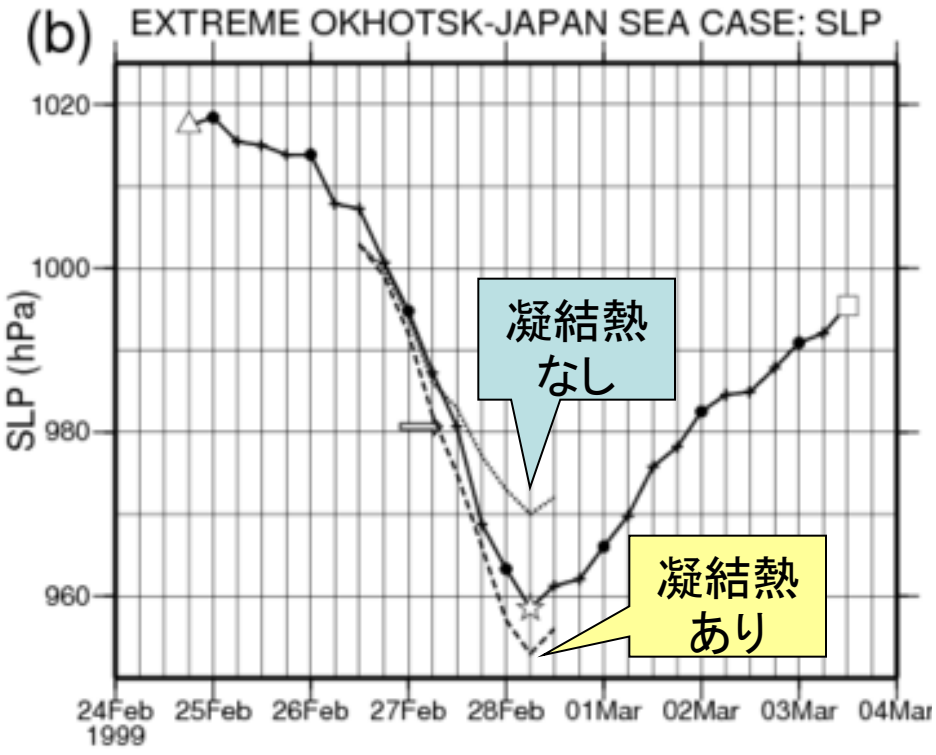


太平洋海洋起源

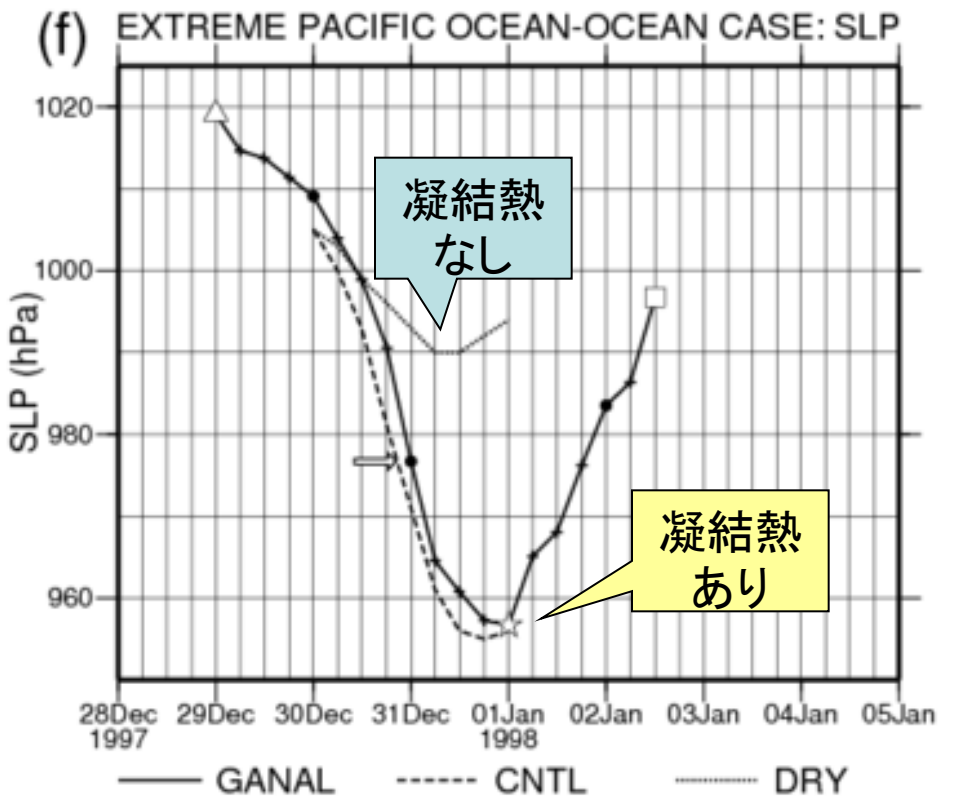
太平洋は1000hPaまでしか発達しない!



オホーツク海・日本海

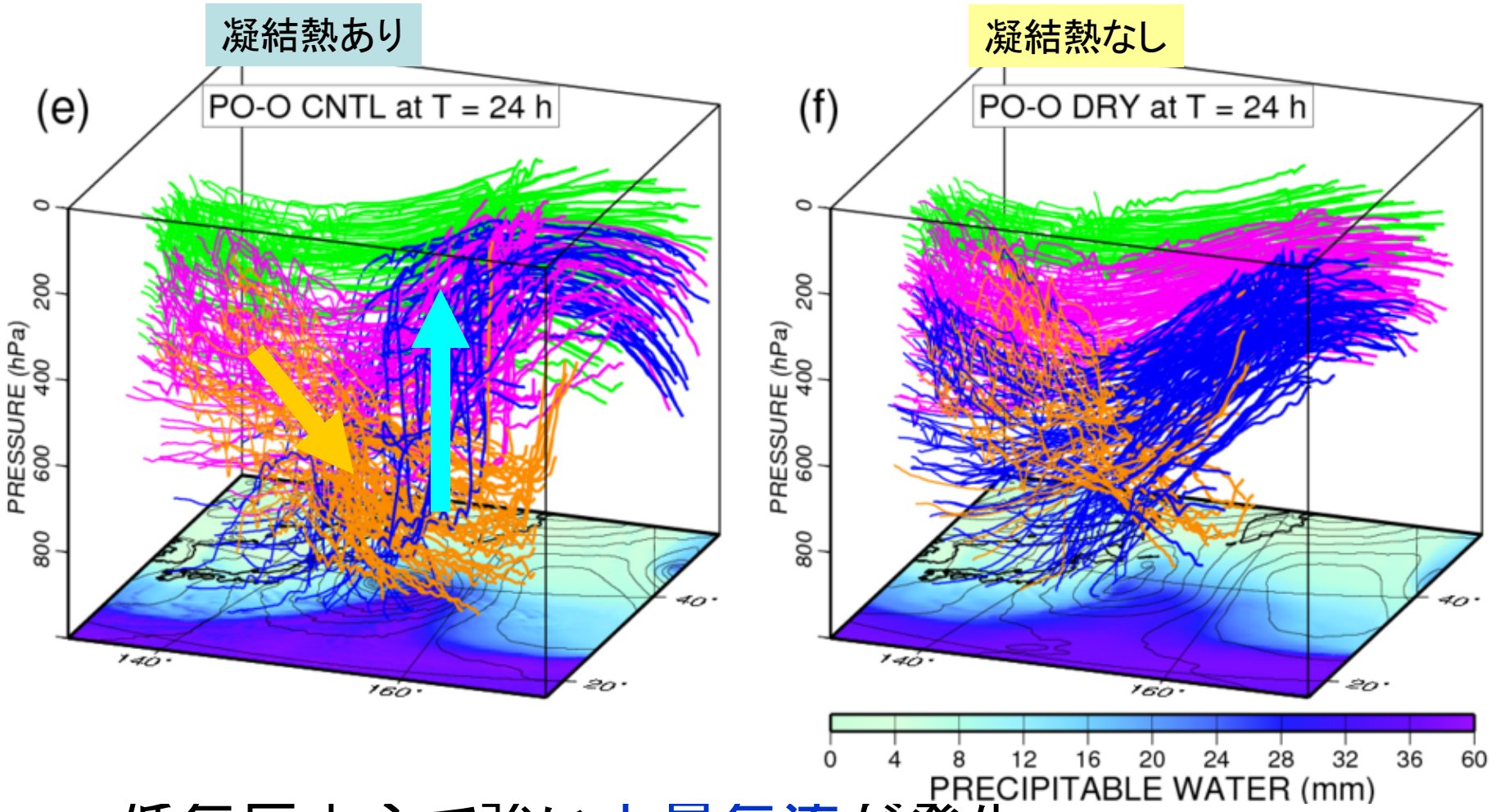


太平洋海洋起源



- 太平洋タイプは水の凝結熱がないと、1日で12 hPaしか発達しない。

太平洋タイプ低気圧の中の風の流れ

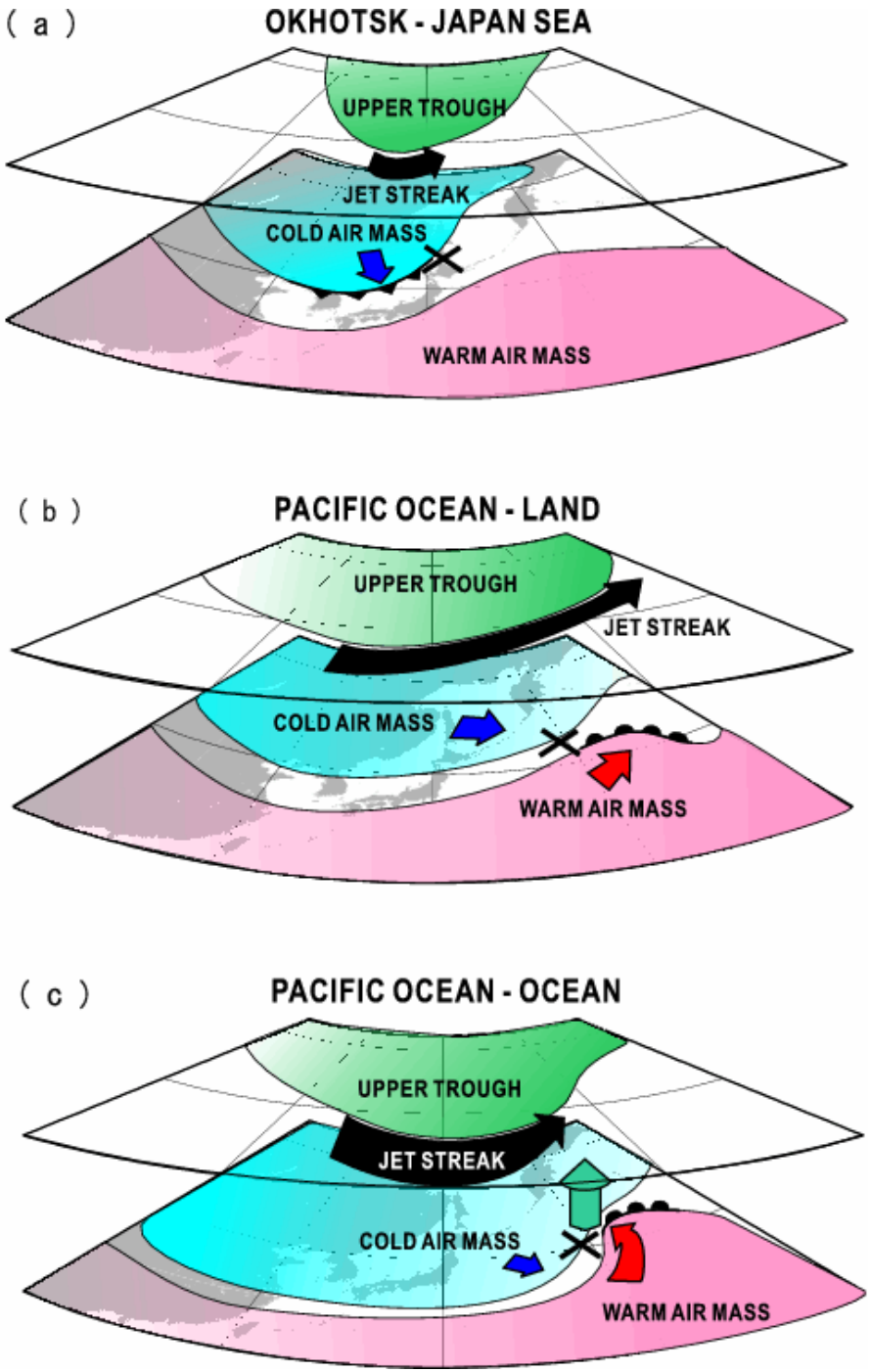


- 低気圧中心で強い上昇気流が発生
- 上空からの下降気流も強い

11月

12月、2月

1月

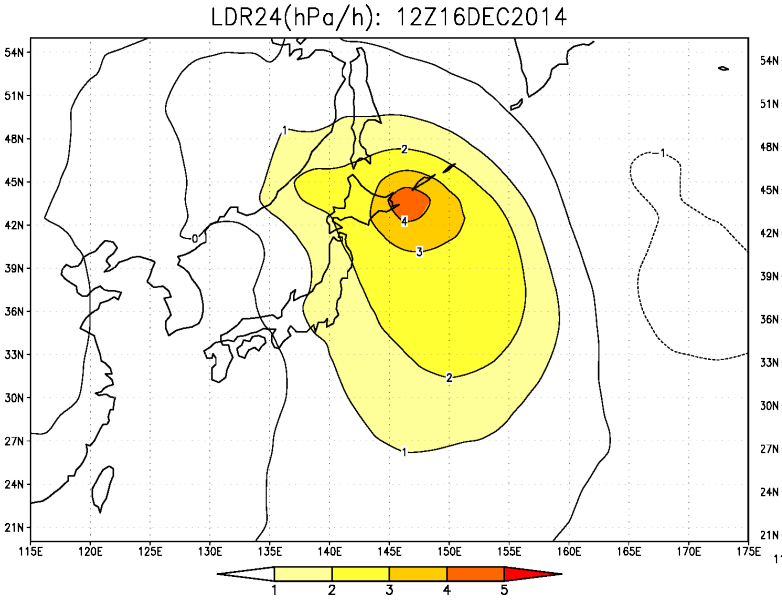


•寒気の張り出しとともに移動経路を南北に変える。

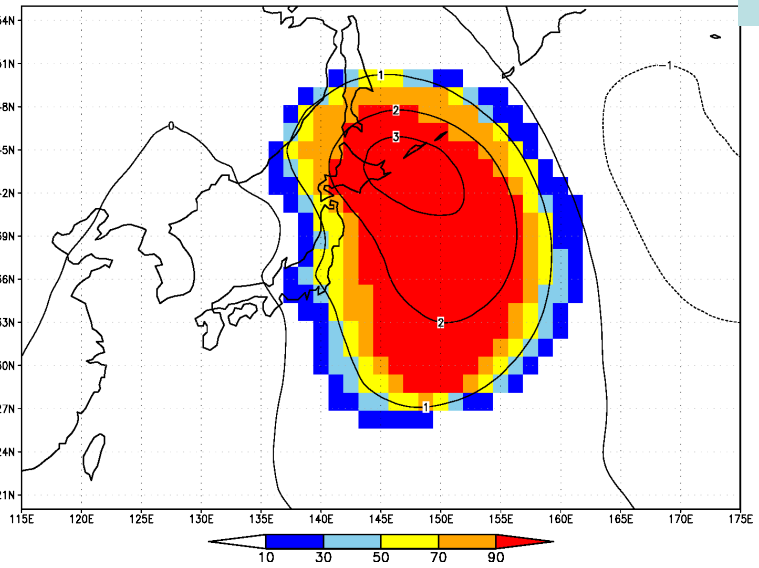
•太平洋上だと、水蒸気の凝結熱をエネルギーとして、より急激に発達する。

どのくらい前から予報できる？

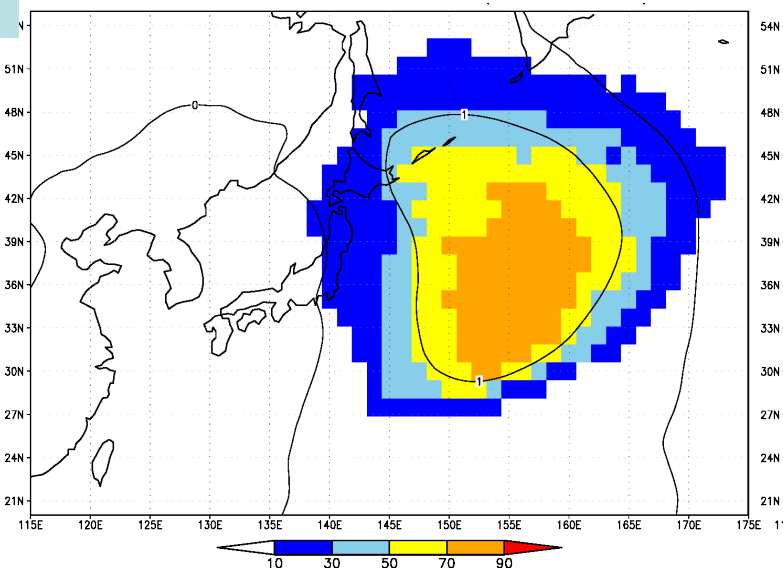
正解



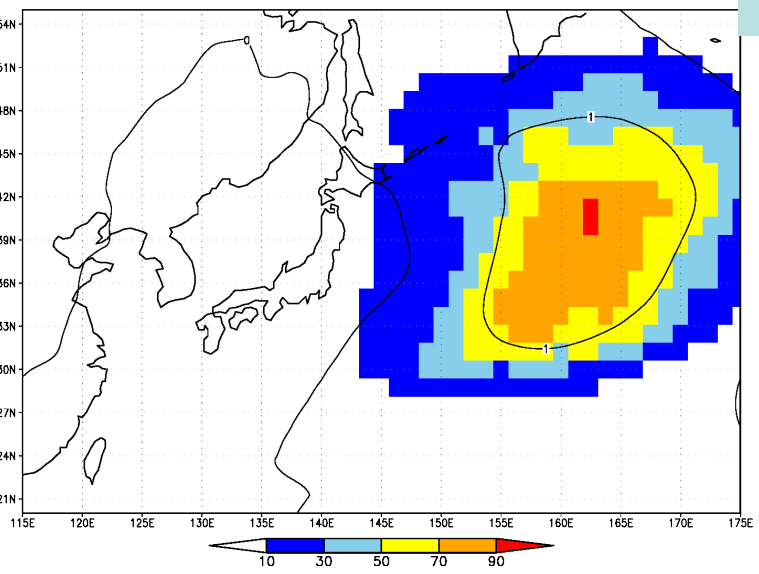
5日予報



7日予報



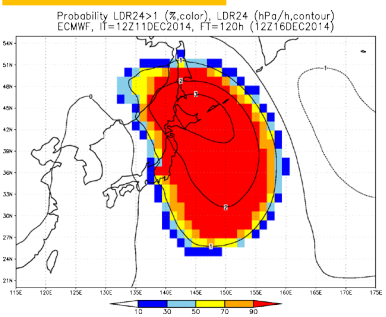
9日予報

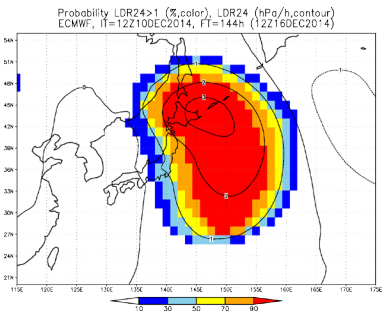


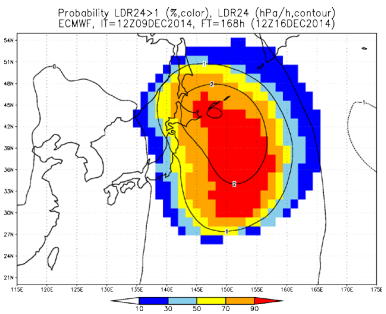
世界に一つだけじゃない予報

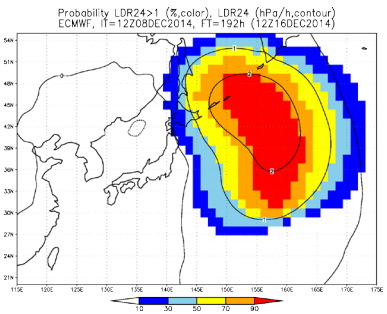
5日予報　6日予報　7日予報　8日予報　9日予報

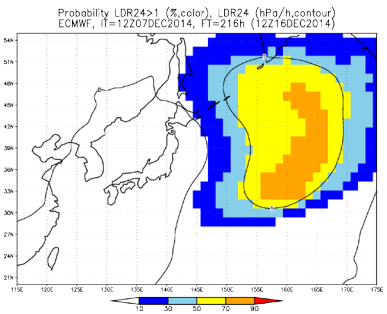
ECMWF



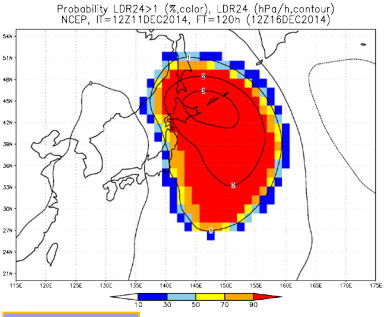


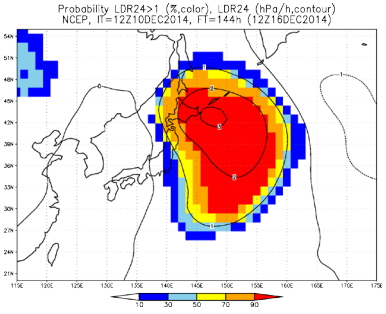


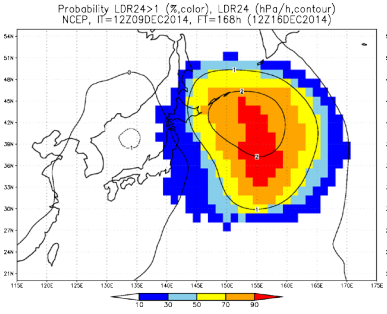


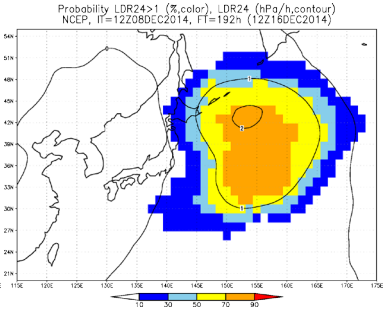


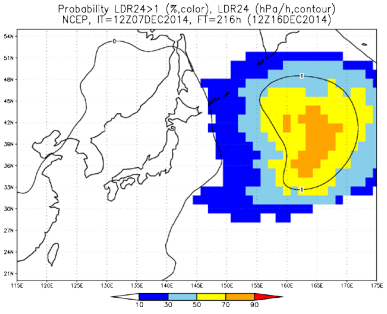
NCEP



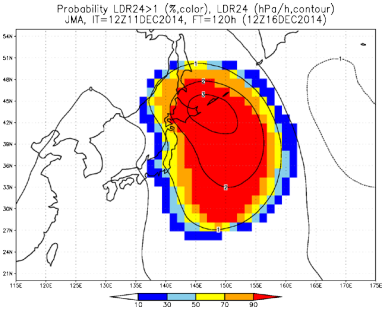


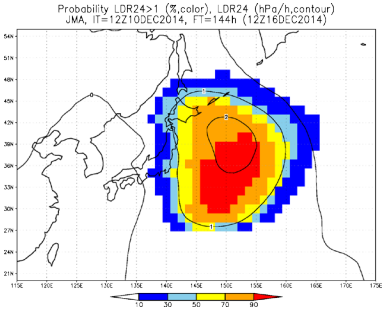


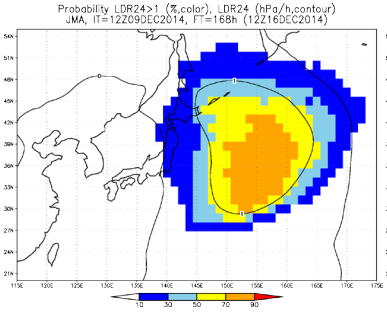


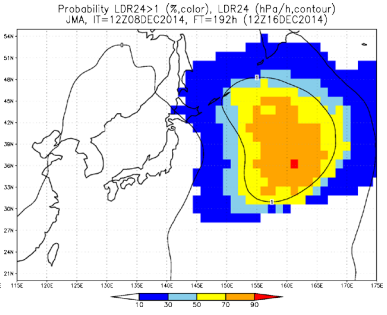


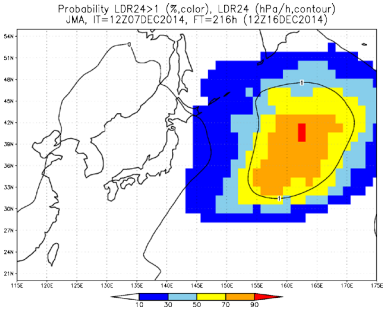
JMA









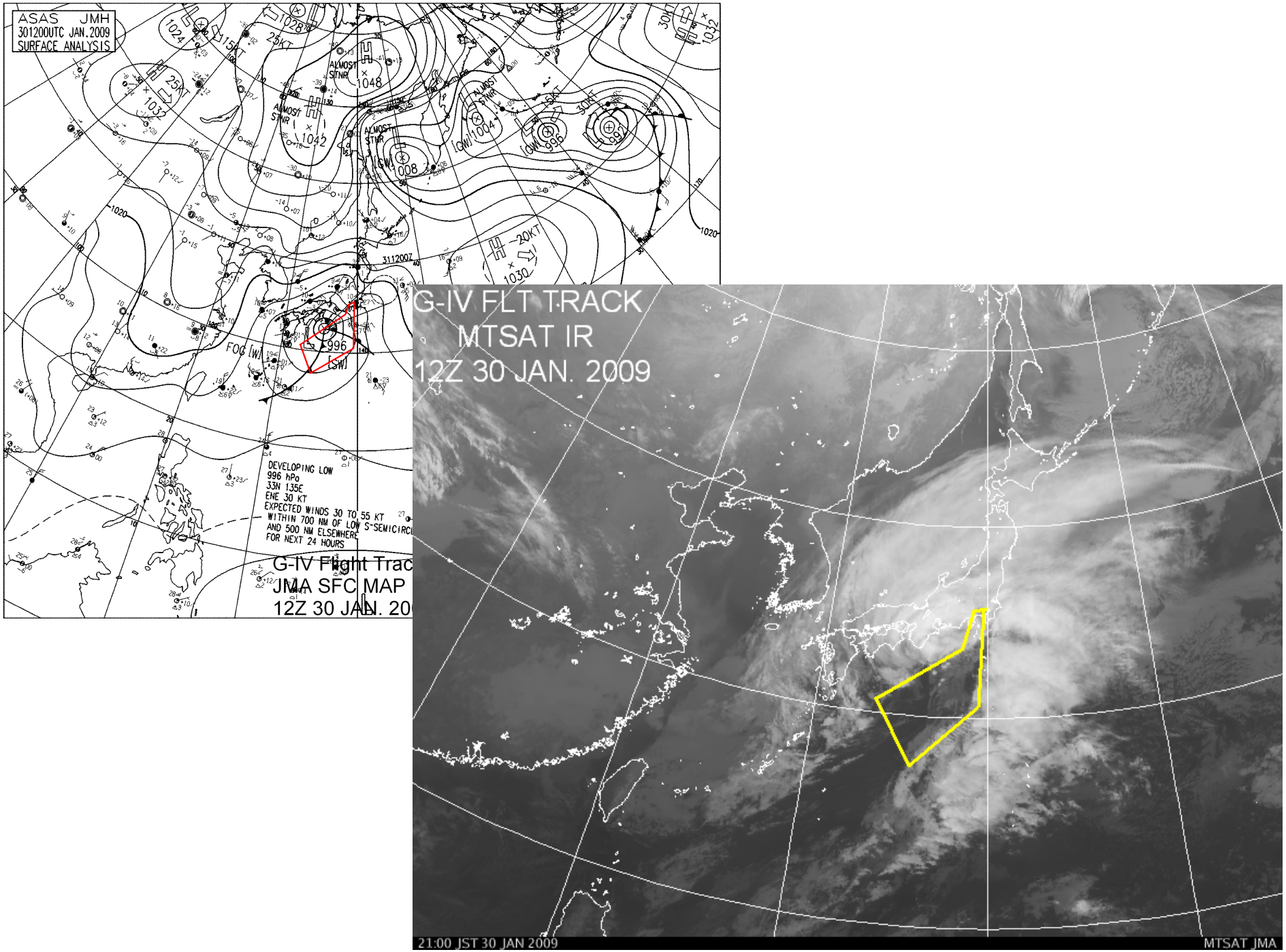


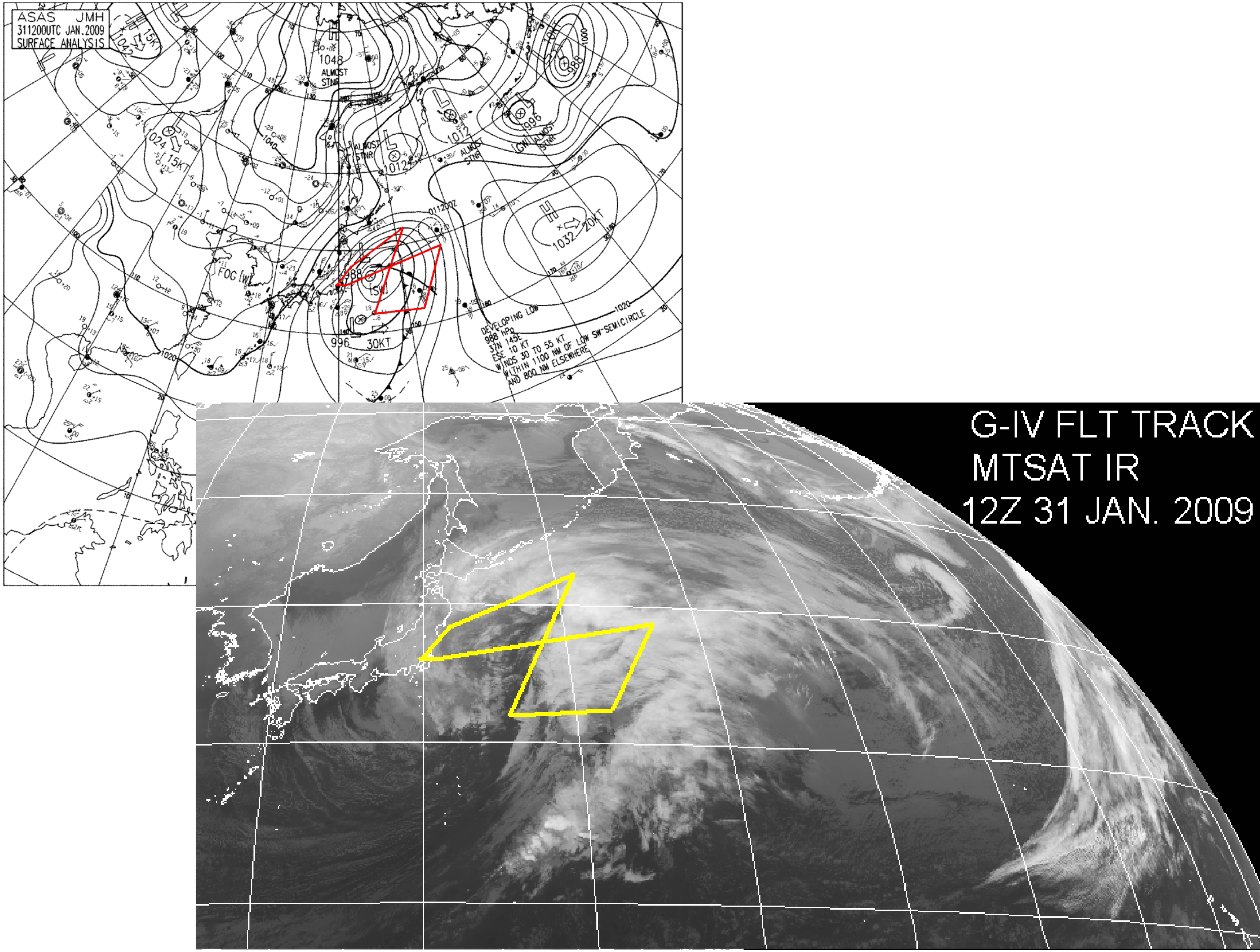
予測の現状

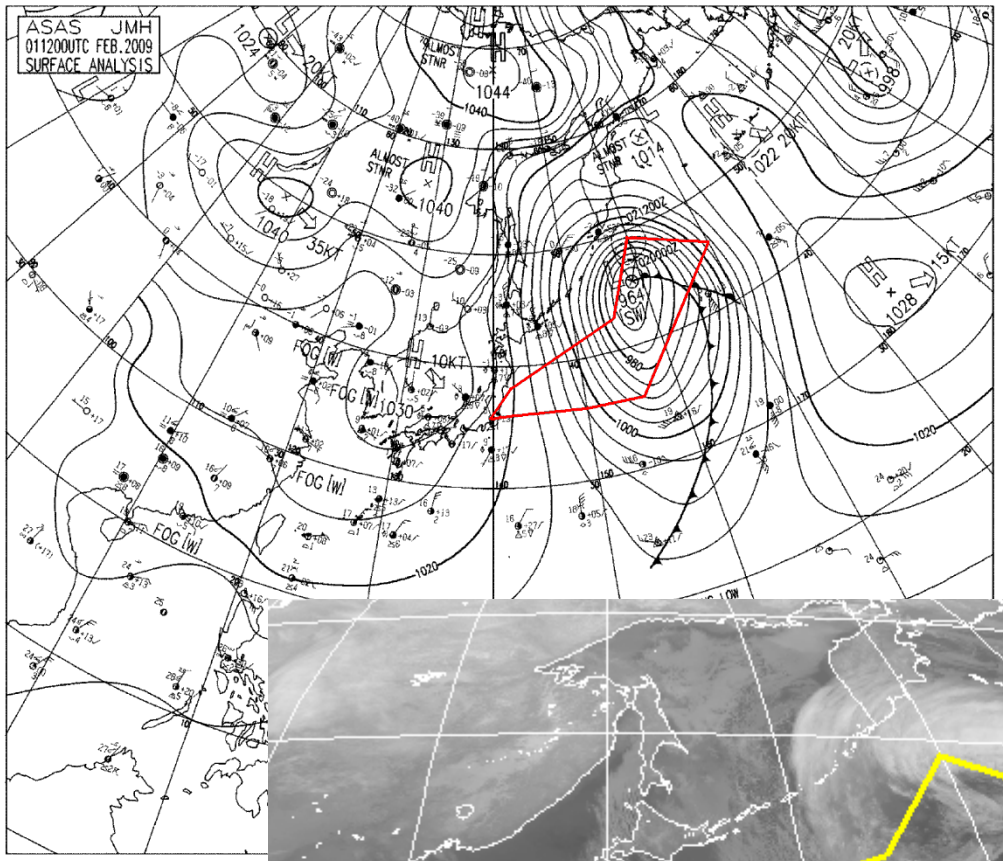
- 数値モデルや観測技術が発達したので、かなり予測できるようになった。
- しかし、上空の渦の起源であるロシア上空の観測点は年々減少しているし、太平洋上の観測はそもそも少ない。
- 予測（研究）のための観測が必要
  - これまでの研究は、現象を調べるための観測が主。

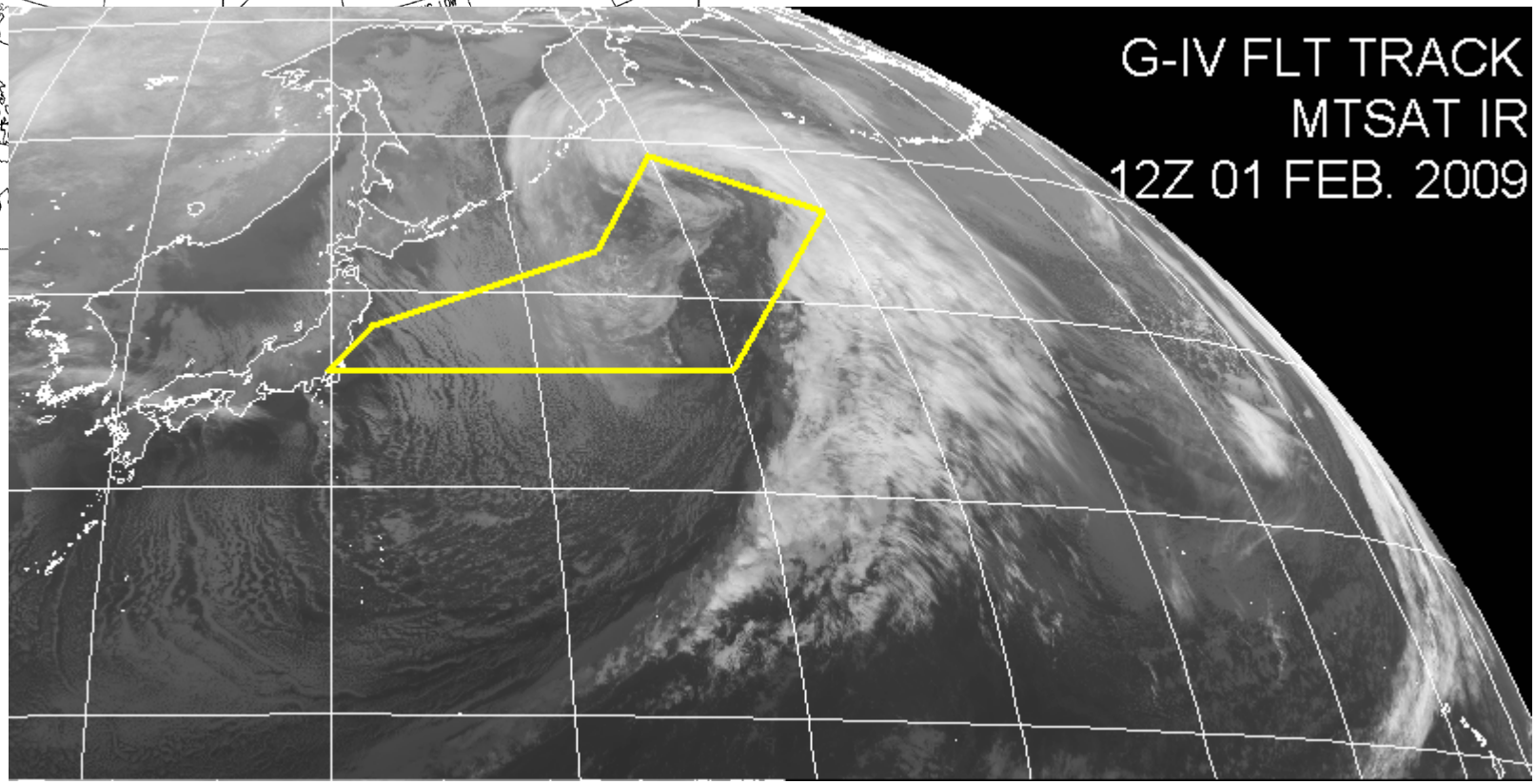
Winter T-PARC

- 2009年1月から3月に太平洋上で実施。
- アメリカの航空機で発達中の低気圧に観測機器(ドロップゾンデ)を投下。
- ロシアの観測も特別に強化(1日2回→4回)


ASAS JMH
301200UTC JAN.2009
SURFACE ANALYSIS
DEVELOPING LOW
996 hPa
33N 135E
ENE 30 KT
EXPECTED WINDS 30 TO 55 KT
WITHIN 700 NM OF LOW S-SEMICIRCL
AND 500 NM ELSEWHERE
FOR NEXT 24 HOURS
G-IV Flight Trac
JMA SFC MAP
12Z 30 JAN. 20
G-IV FLT TRACK
MTSAT IR
12Z 30 JAN. 2009
21:00 JST 30 JAN 2009
MTSAT JMA

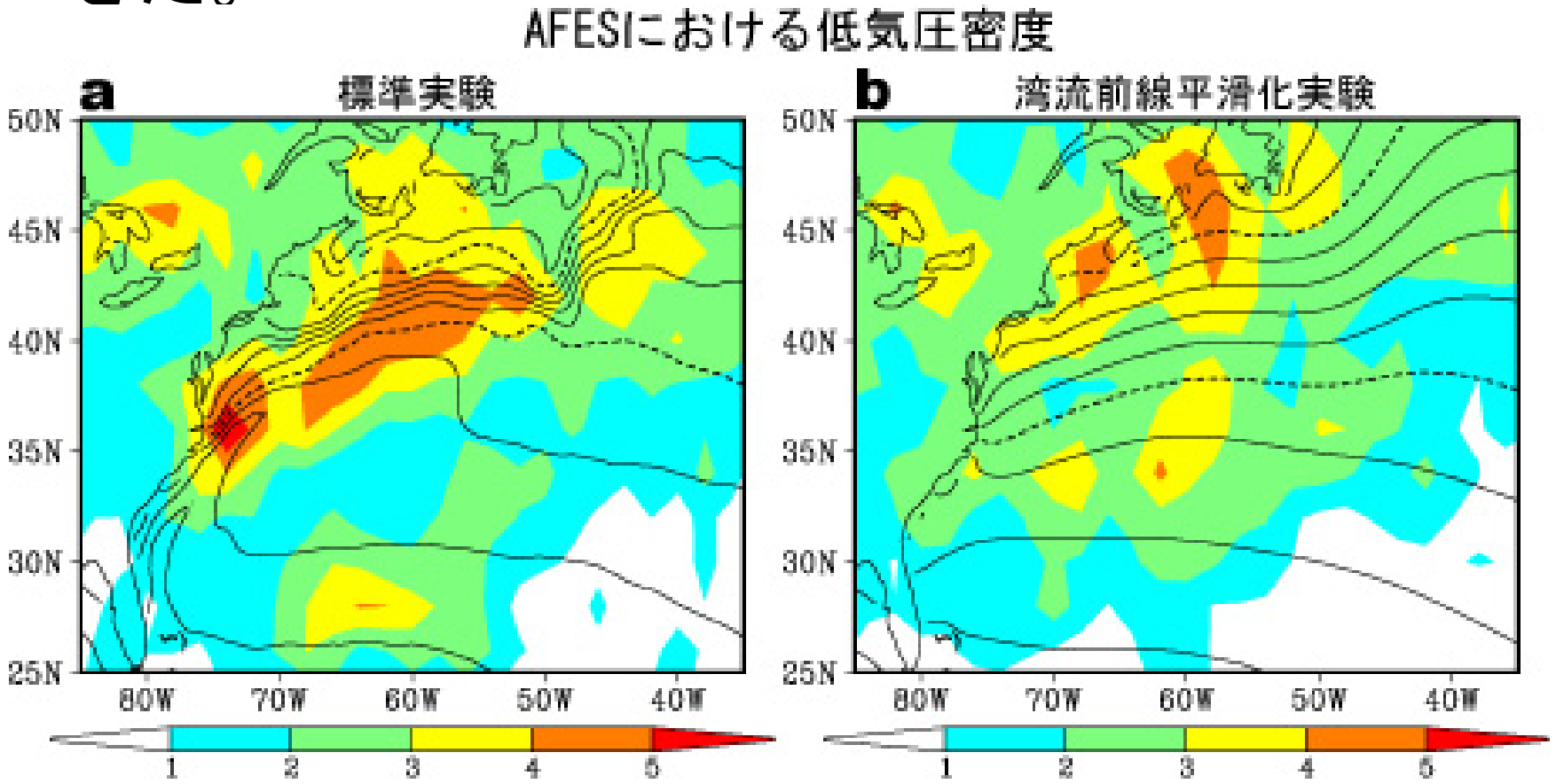

ASAS JMH
311200UTC JAN.2009
SURFACE ANALYSIS
DEVELOPING LOW
988 hPa
37N 145E
ESE 10 KT
WINDS 30 TO 55 KT
WITHIN 1100 NM OF LOW SW-SEMICIRCLE
AND 800 NM ELSEWHERE
G-IV FLT TRACK
MTSAT IR
12Z 31 JAN. 2009


ASAS JMH
011200UTC FEB.2009
SURFACE ANALYSIS


G-IV FLT TRACK
MTSAT IR
12Z 01 FEB. 2009

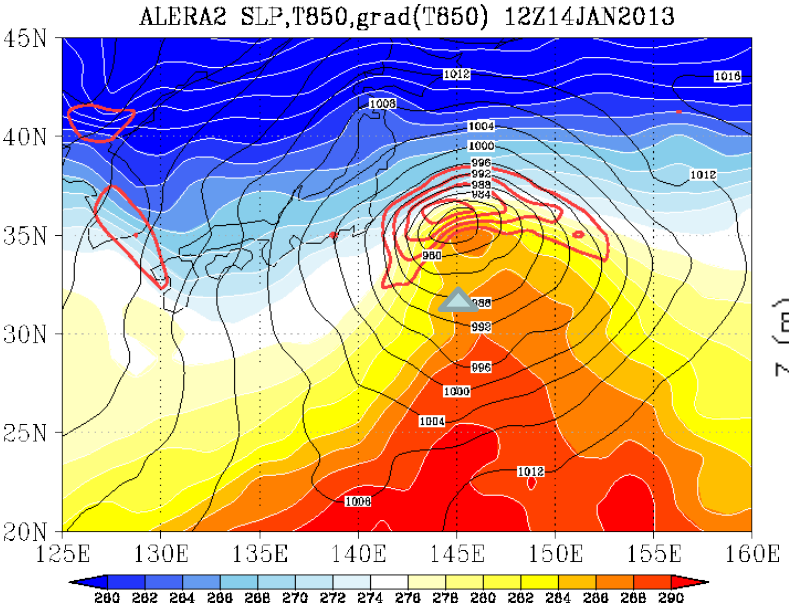
海洋との関係は?

- 黒潮やメキシコ湾流などの海面水温前線が低気圧の発達に影響していることがわかってきた。

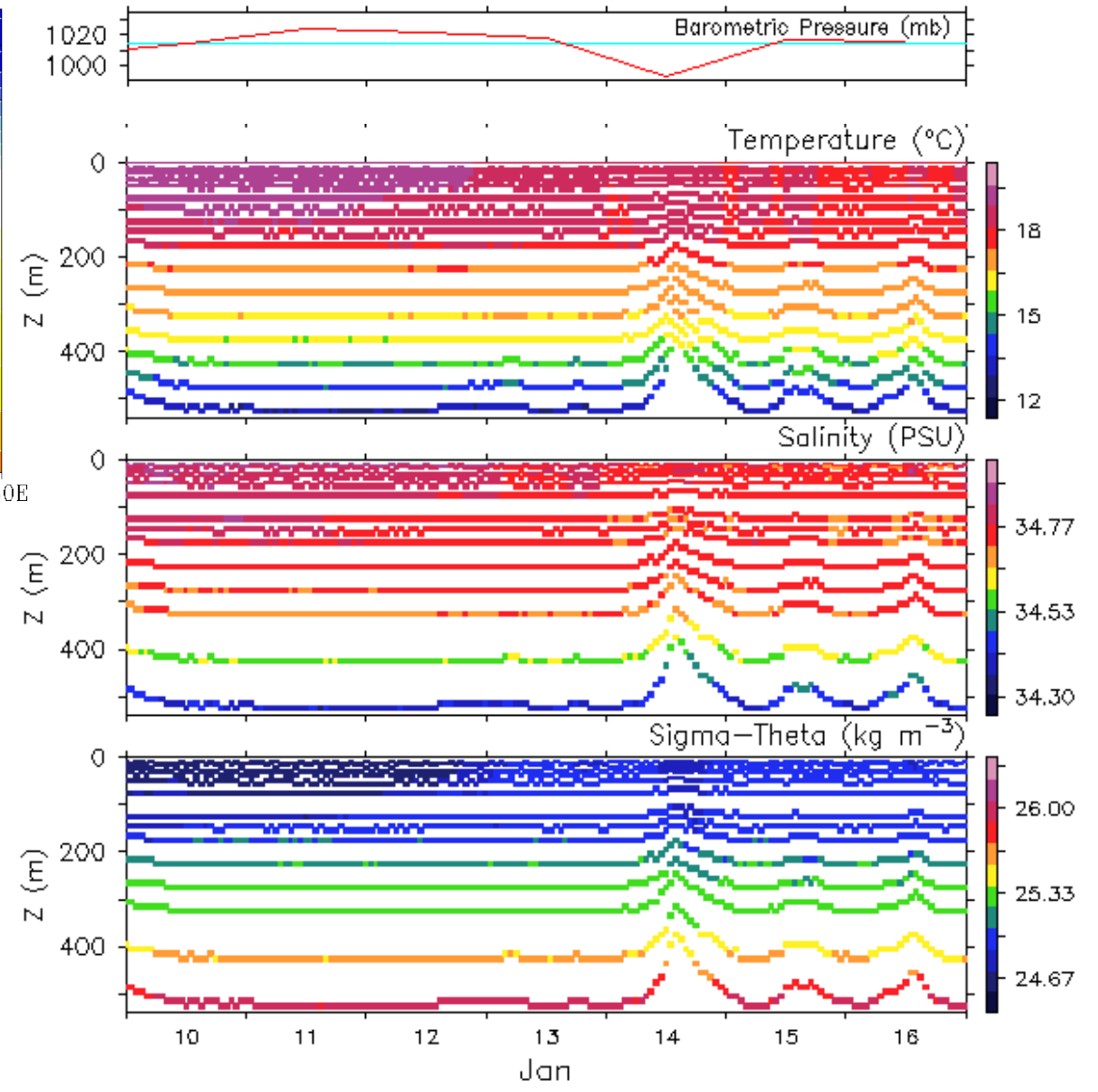


Minobe et al. 2008

海洋ブイ観測

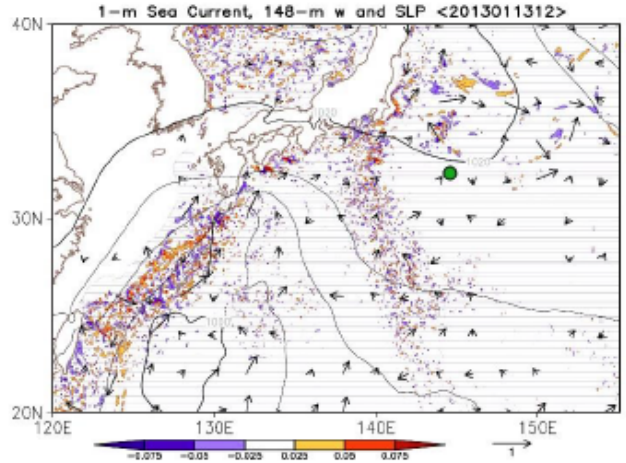


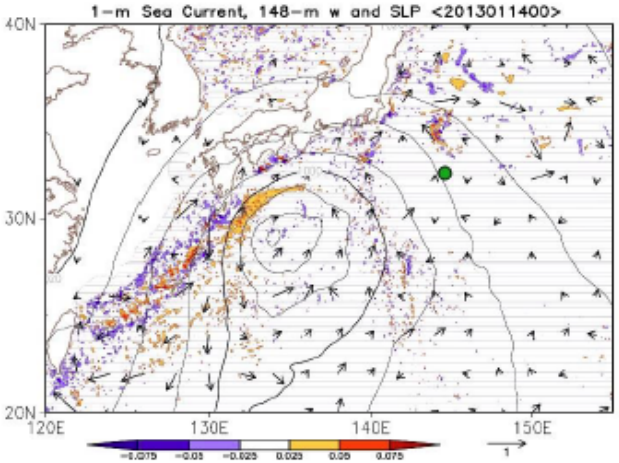
- 2013. 1. 14の低気圧通過時に、係留センサーが急浮上（100m/12h）

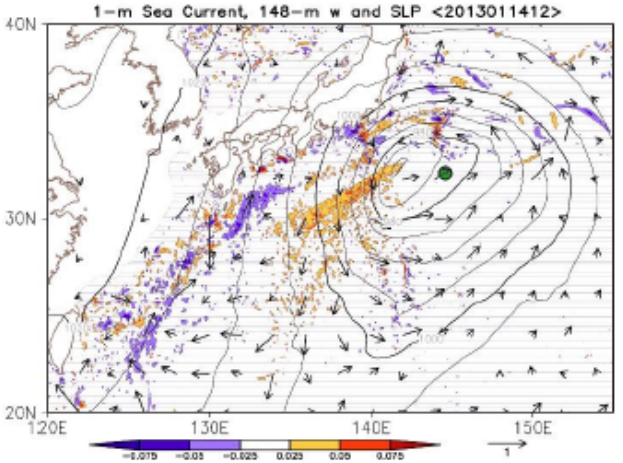


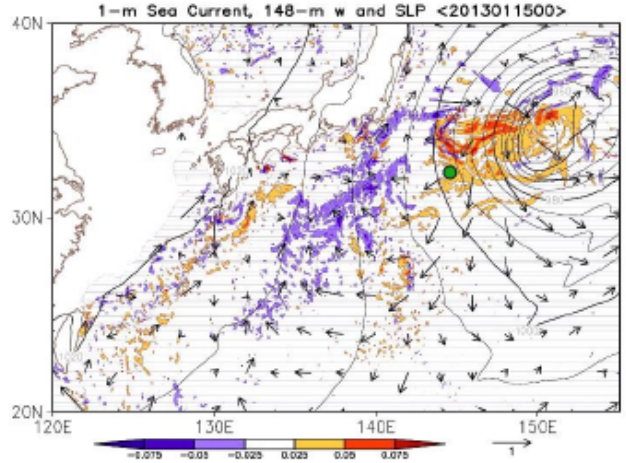
●CReSS-NHOESによる再現実験

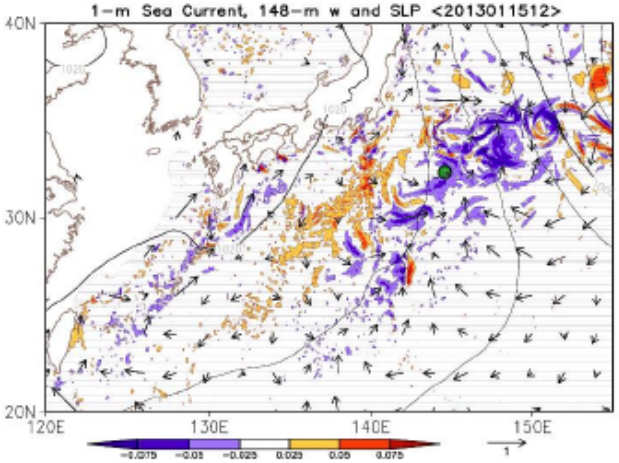
ベクトル:海面の海流　陰影:148 m深の上昇流 (cm/s) ●:KEO-buoyの位置

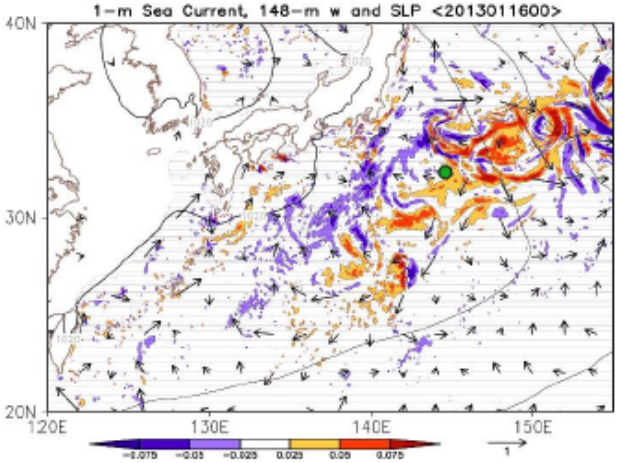








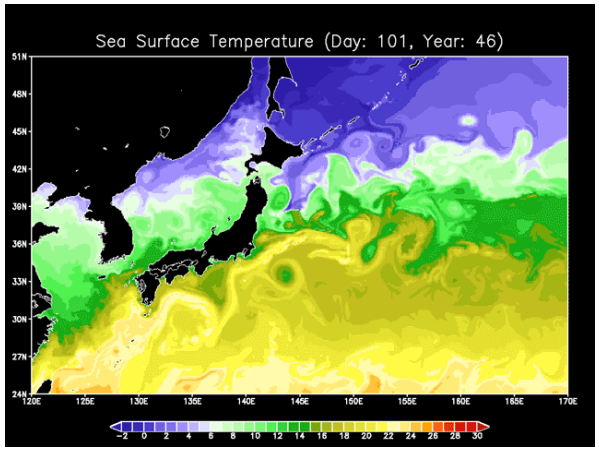




▶低気圧後面で，上昇・下降流が卓越する

若手研究(A):「爆弾低気圧は海洋を変えるか？高解像度海洋モデルと高頻度自動観測網による実態解明」(2014(H26)-2016(H28))

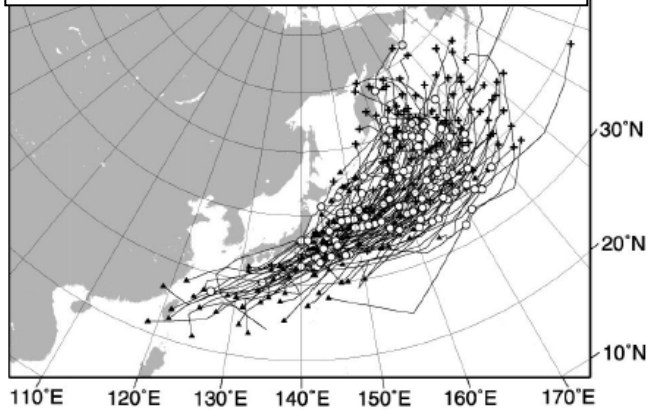
High-resolution Model



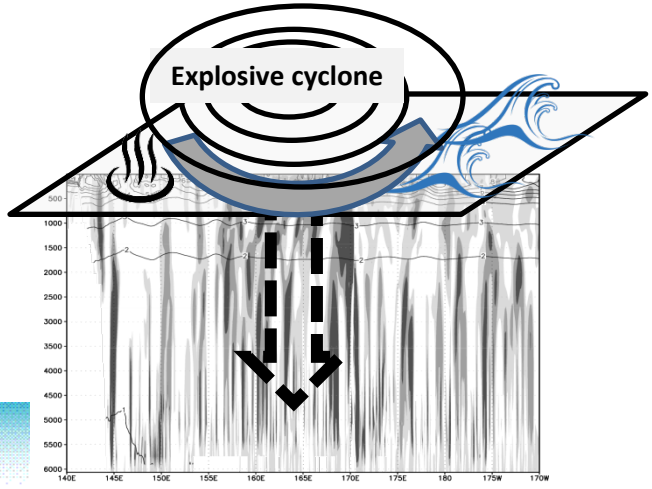
OFES,
JCOPE2,
CReSS-NHOES

Clarify Impact of Explosive cyclone on ocean

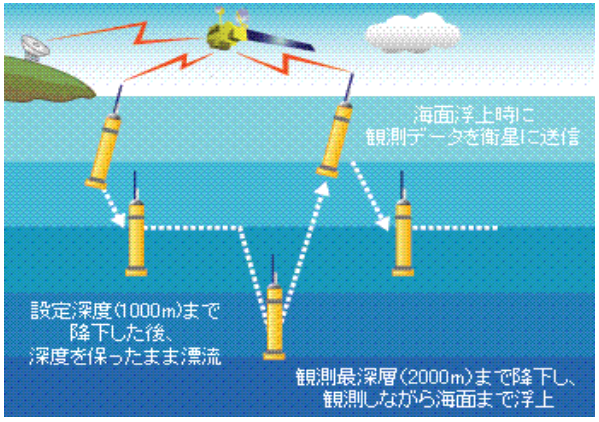
Explosive cyclone frequency



Data assimilation



High-frequency observation



KEO, JKEO, NKEO
2015/16 winter
- ARGO x 4
- 6-h – daily profile

まとめ

- 爆弾低気圧は、上空の渦と地上の前線との「カップリング」で発達。
- 太平洋上では水蒸気の凝結熱を得て、より急速に発達。
- 5日前くらいから予測可能。
- 予測精度を向上させるための特別観測が最近実施された。
- 海洋前線が低気圧活動に与える影響や爆弾低気圧が海洋に与える影響の研究が開始。
- モデルと観測の両輪で、より正確な予測と現象の理解のための研究が進んでいる。

爆弾低気圧情報データベース

http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/