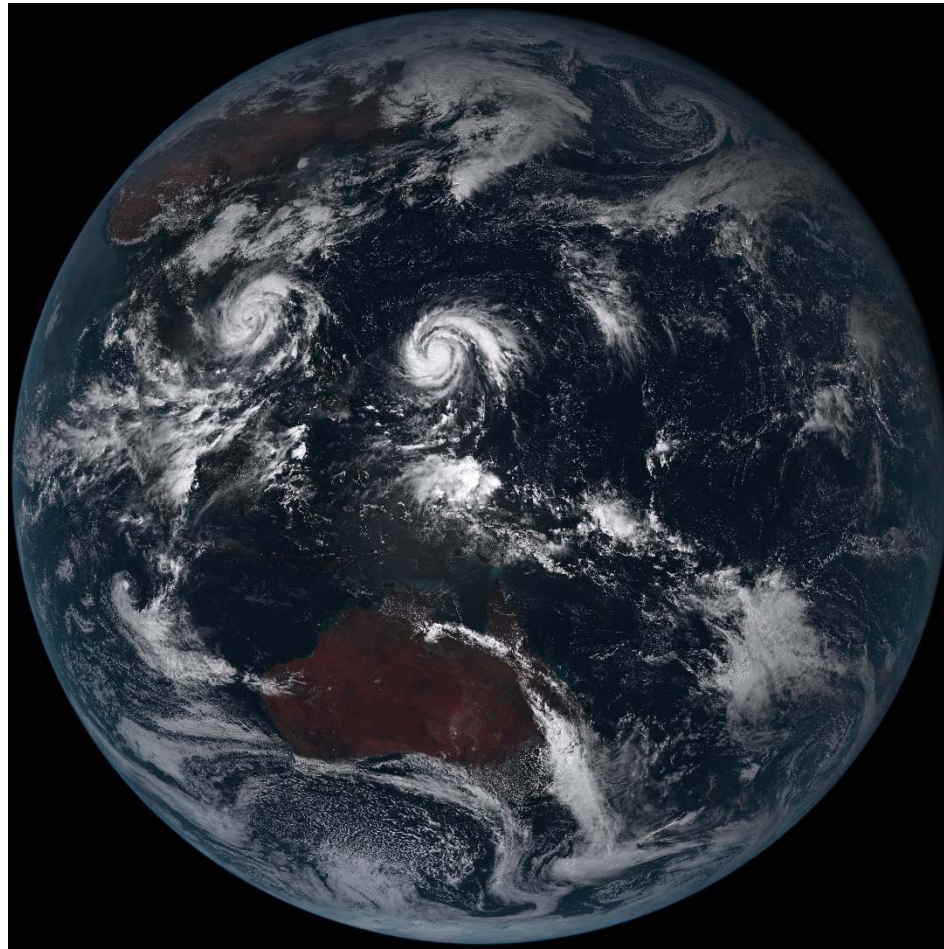


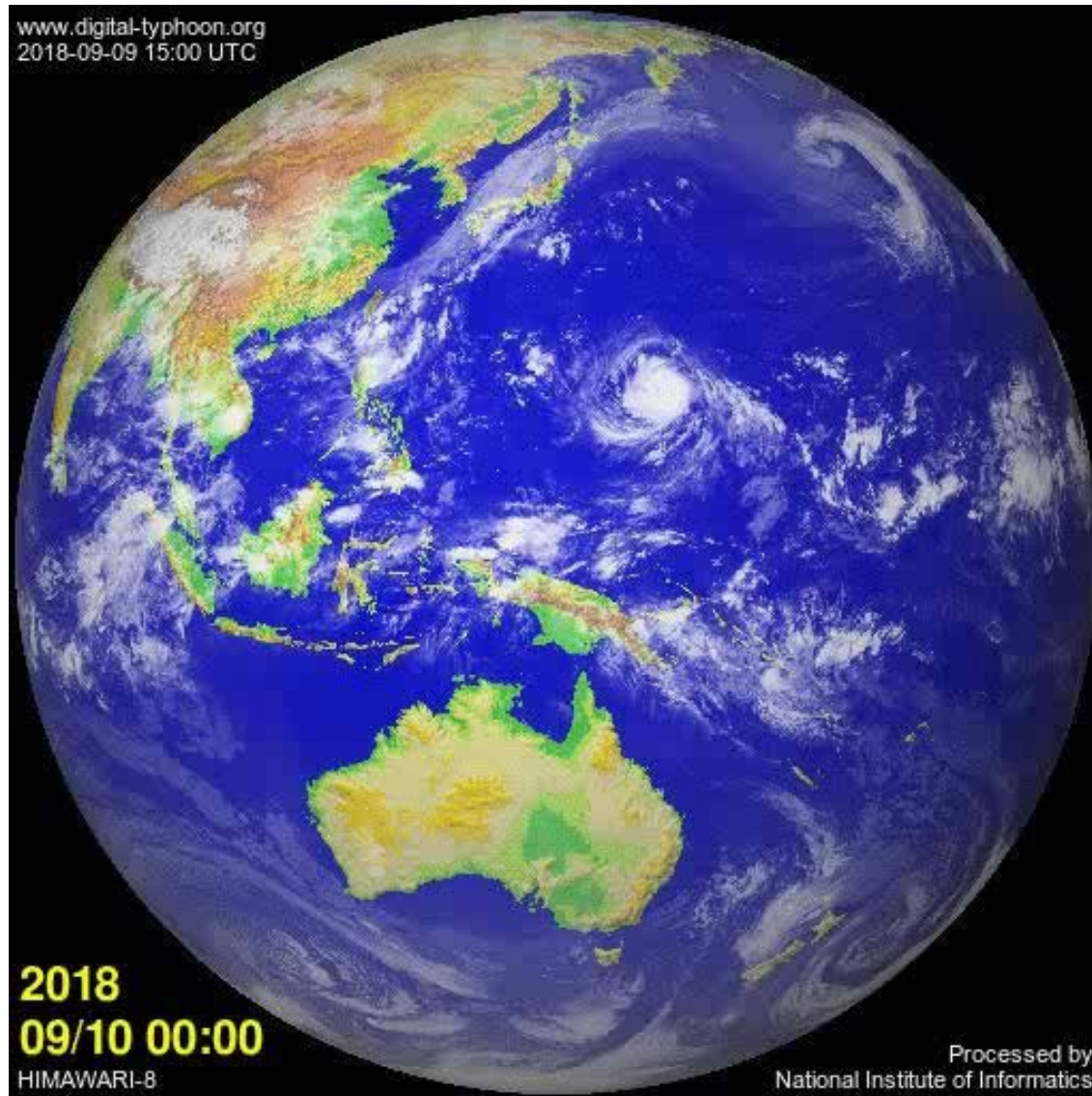
低気圧の多様性 ～熱帯から極まで～

柳瀬 亘（気象研究所・台風研究部）

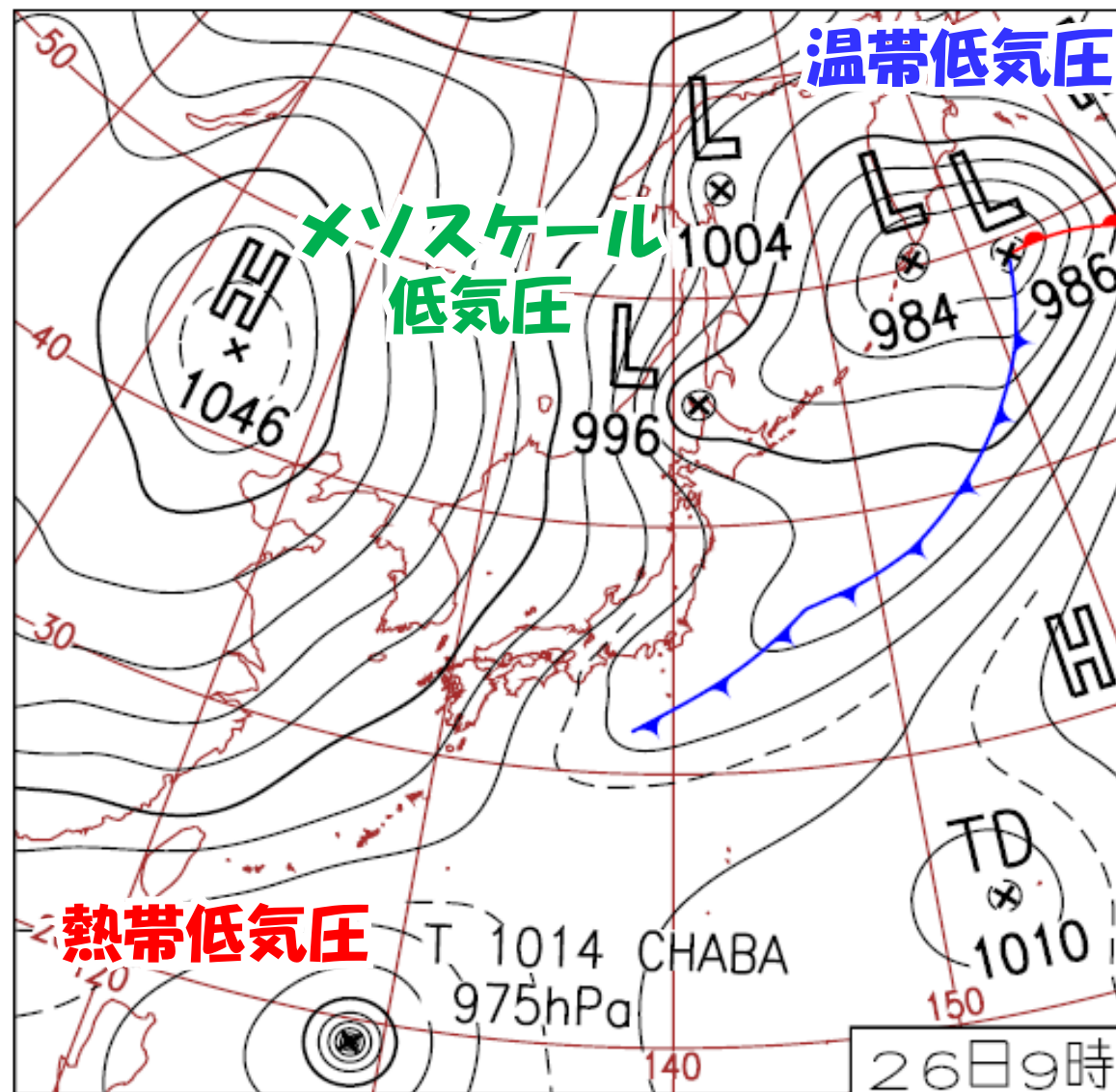


第6回気象サイエンスカフェつくば（筑波大学サテライトオフィス, 2018年10月16日）

地球上の低気圧(渦)の様子 (最近1カ月の雲の動き)



天気図の低気圧



2010年
10月26日

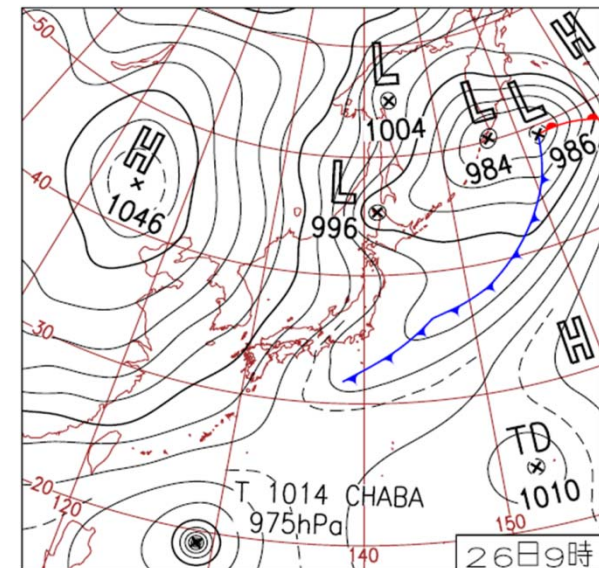
低気圧とは

- 定義：高さの同じ面で、周囲よりも気圧が低く、閉じた等圧線で囲まれたところ。（気象庁の用語解説）

※単に「低気圧」と言った場合に、温帯低気圧を指すことがある

- 本日の発表では天気図に現れる様々な低気圧を紹介する

※対象とするスケールは数百km以上で、
竜巻など小さな渦は除外する。



低気圧の重要性

- 日々の天気に関わる身近な現象
- 社会的な影響
強風・大雨・高波・高潮...
- 気候システムでの役割
熱や水蒸気の輸送



台風第24号で倒された街路樹。
10月1日2時につくばで
最大瞬間風速32.7m/sを記録。

本日のテーマ

1. 低気圧のメカニズム

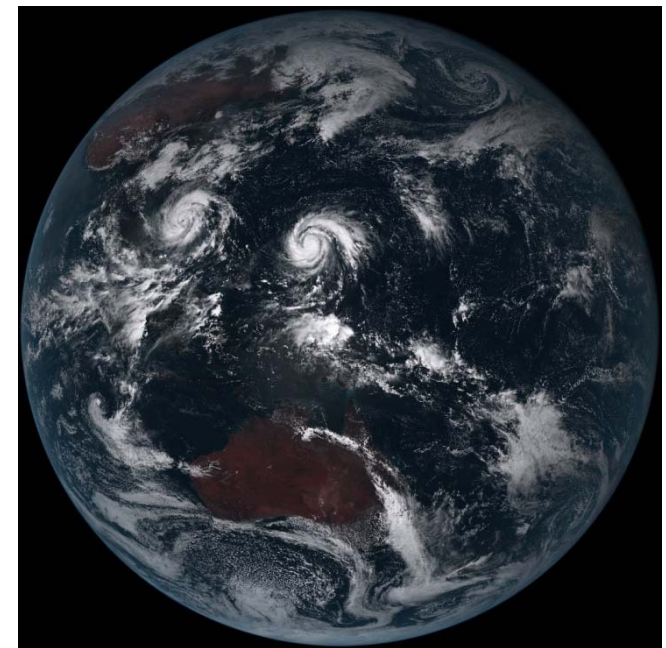
なぜ低気圧が形成するのか？

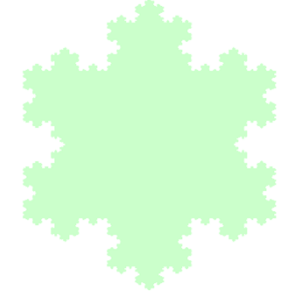
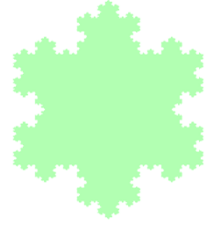
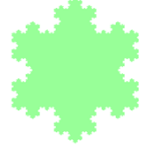
2. 熱帯低気圧と温帯低気圧 ～低気圧の双璧～

何が同じで何が違うのか？

3. 低気圧の多様性

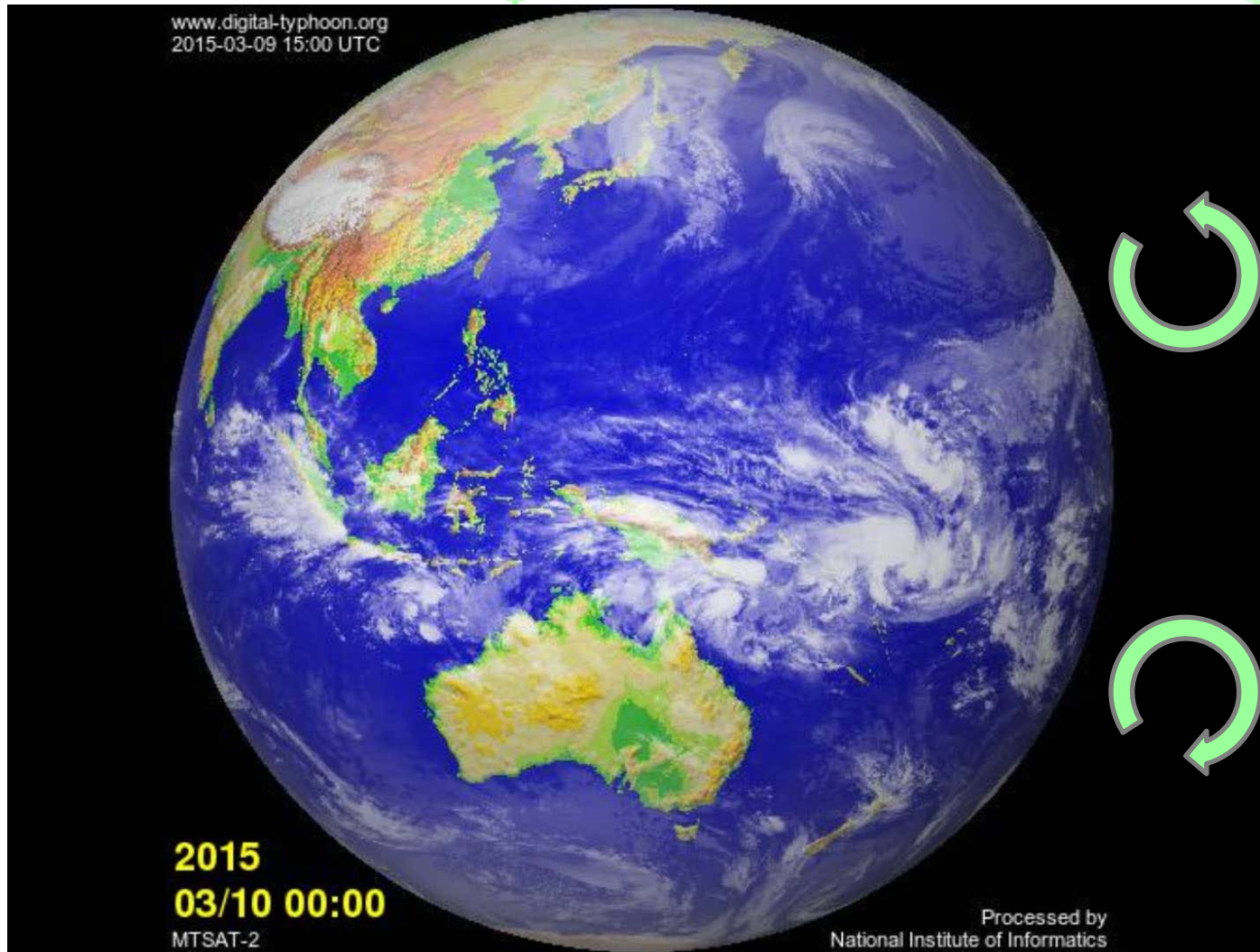
地球上にはどのような
低気圧があるのか？





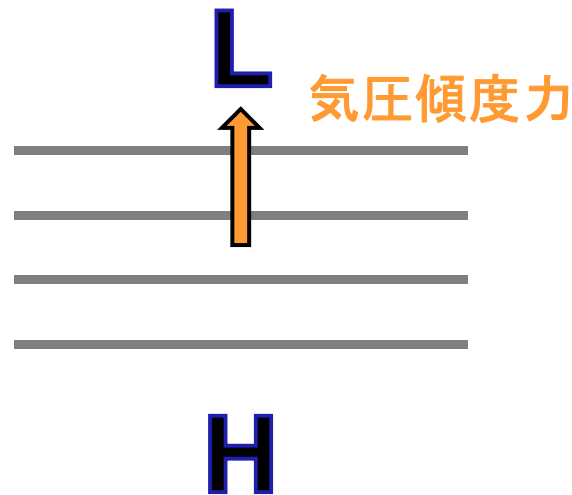
1. 低気圧のメカニズム

低気圧の渦の起源：地球の自転（コリオリ力）

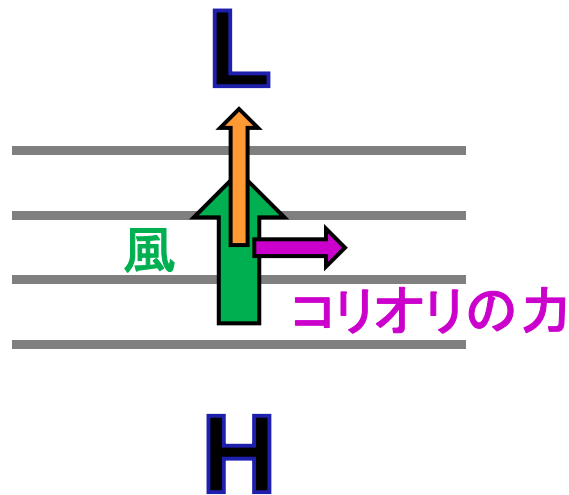


北半球と南半球に同時に熱帯低気圧が発生する”Twin Cyclone”

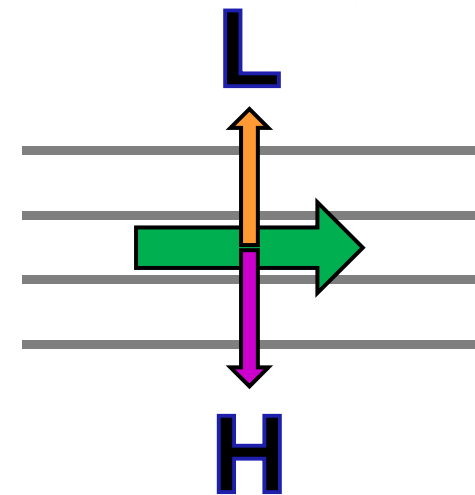
水平方向の力学：コリオリの力と地衡風バランス



- ① 気圧差により
低気圧の方向
(例では北向き)に
力が働く。
(気圧傾度力)

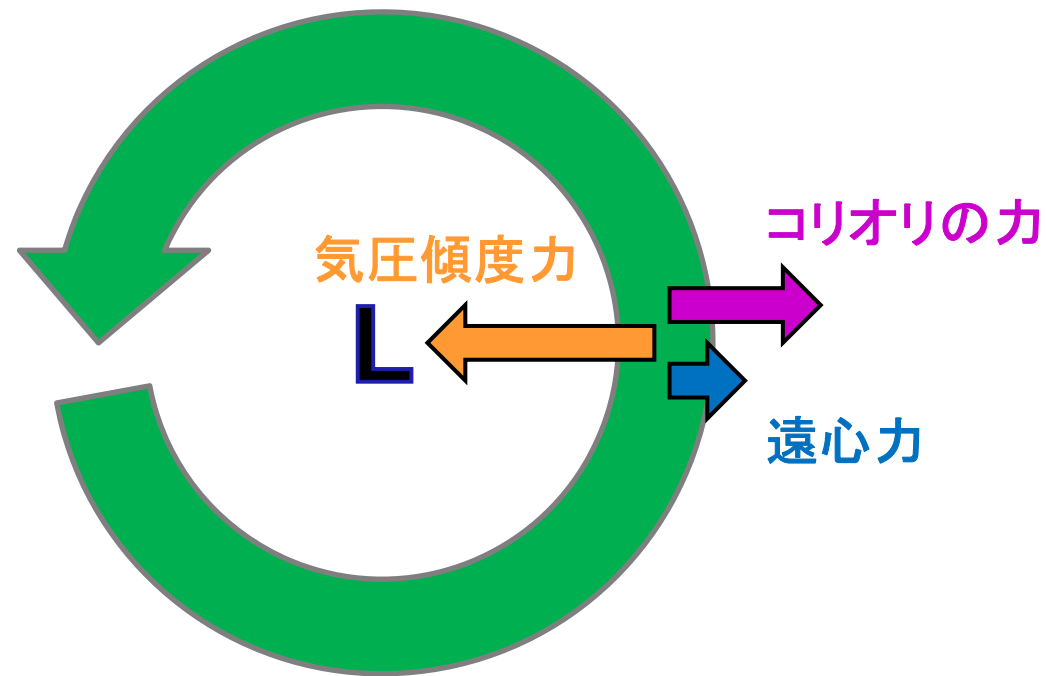


- ② 低気圧の方向に
風が生じる。
その風に対して
北半球では
右向き力が働く。
(コリオリの力)



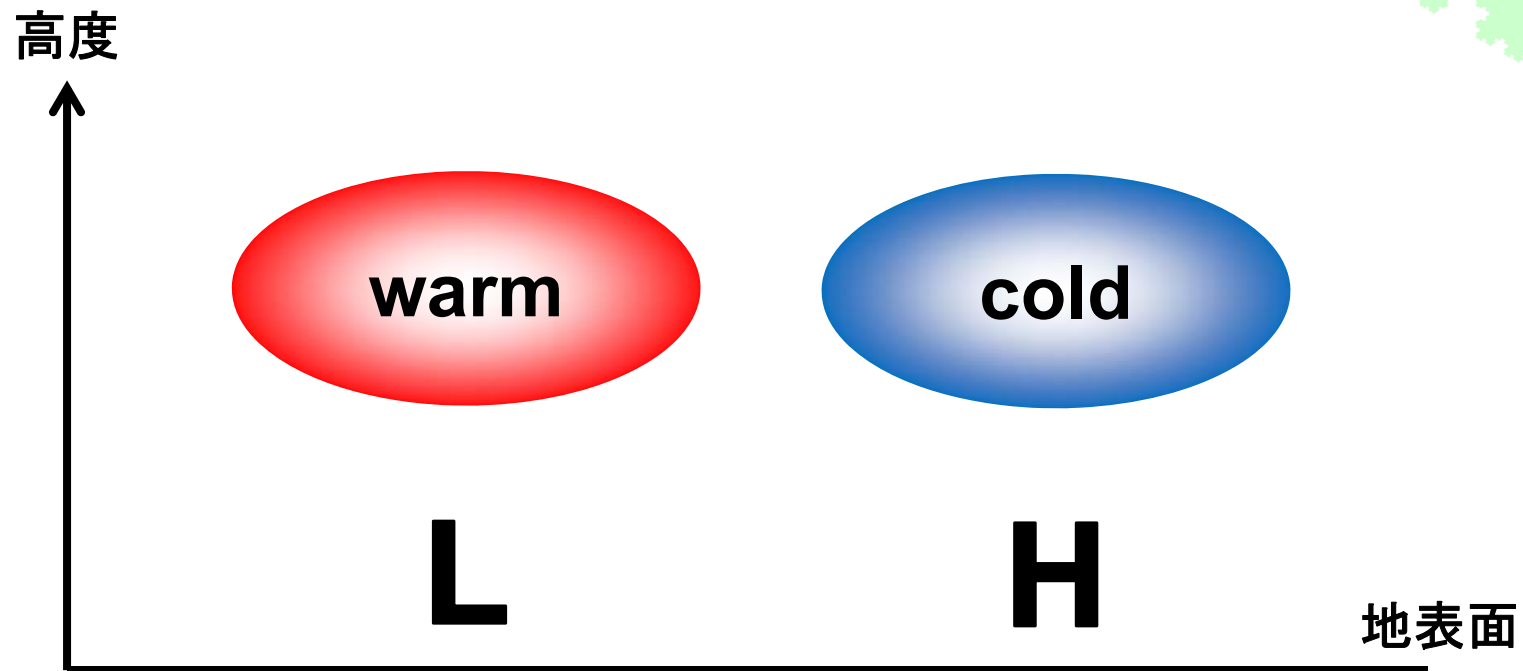
- ③ 風の向きが
東に曲げられる。
気圧傾度力と
コリオリの力が
バランスする。
(地衡風バランス)

水平方向の力学：傾度風バランス（曲率の効果）



- ✓ 北半球では低気圧は反時計回りの渦になる。
- ✓ 曲率があると遠心力も働く。
(風が強く半径が小さいほど遠心力は大きくなる)

鉛直方向の力学：静水圧バランス



- ✓ ある高度での気圧は、その上にある空気の重さで決まる
(高度が高くなるほど気圧は低くなる)
- ✓ 暖かい(軽い)空気が上にあると気圧は相対的に低くなる

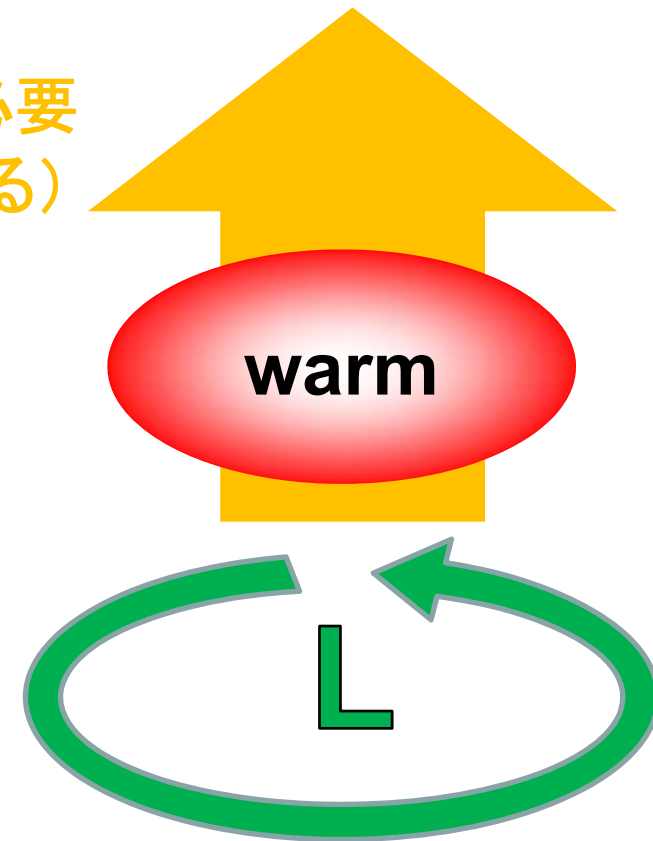
低気圧の構造と発達プロセス

上昇流

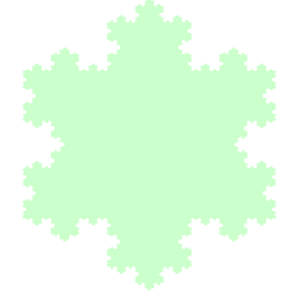
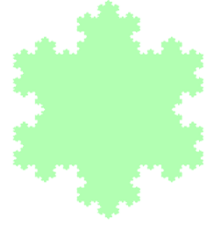
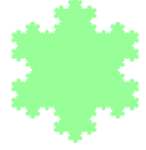
- ✓ 引伸ばしによる渦の発達
- ✓ 断熱冷却 → 温めるプロセスが必要
(低気圧によって異なる)

低気圧の上の暖気
(静水圧バランス)

反時計回り(北半球)の渦
(傾度風バランス)



※実際の低気圧では、他にもさまざまなプロセスが働く



2. 熱帯低気圧と温帯低気圧 ～低気圧の双璧～

熱帯低気圧

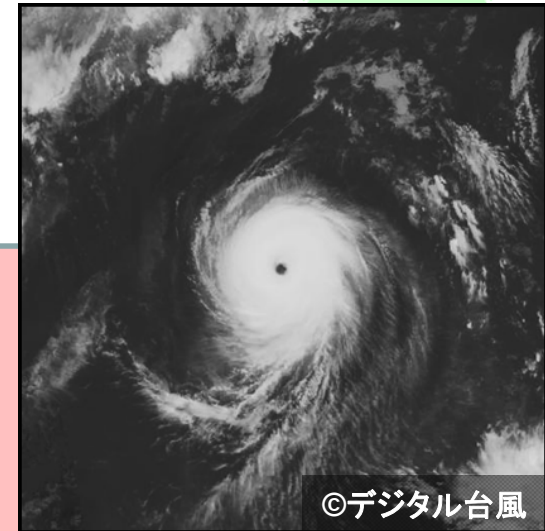
熱帯低気圧（気象庁）

- ✓ 熱帯または亜熱帯地方に発生する低気圧の総称で、風の弱いものから台風やハリケーンのように強いものまでである。

台風（気象庁）

- ✓ 北西太平洋に存在する熱帯低気圧のうち、低気圧域内の最大風速がおよそ17m/s以上のもの。

※気象情報等で「熱帯低気圧」を用いる場合は、最大風速が台風に満たないものを意味している。



熱帯低気圧の呼び名

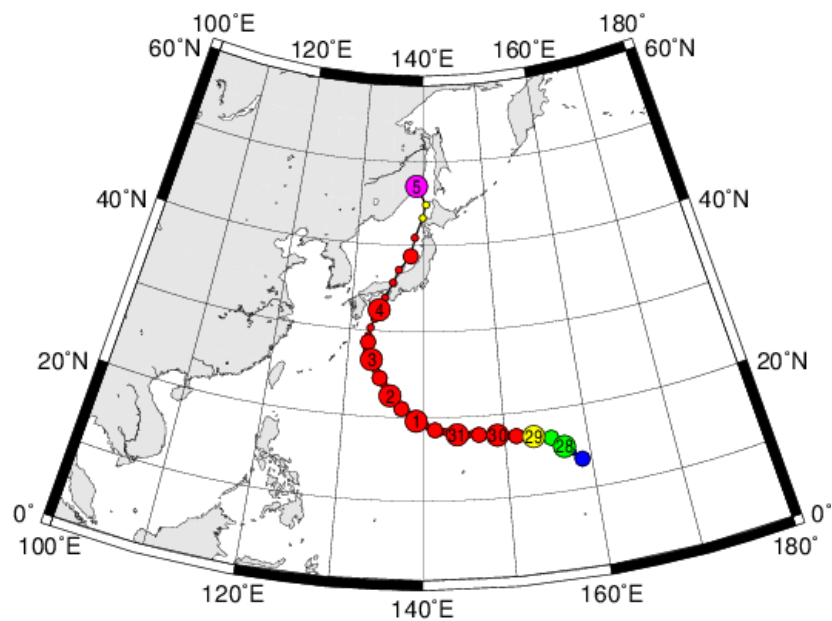
cf. 気象庁の「よくある質問集」など

発生場所	最大風速 34kt (17m/s)以上	最大風速 64kt (33m/s)以上
北西太平洋(国内)	台風	
北西太平洋	トロピカルストーム (Tropical Storm)	タイフーン (Typhoon)
北東太平洋 + 北大西洋	トロピカルストーム (Tropical Storm)	ハリケーン (Hurricane)
北インド洋	サイクロン (Cyclone)	

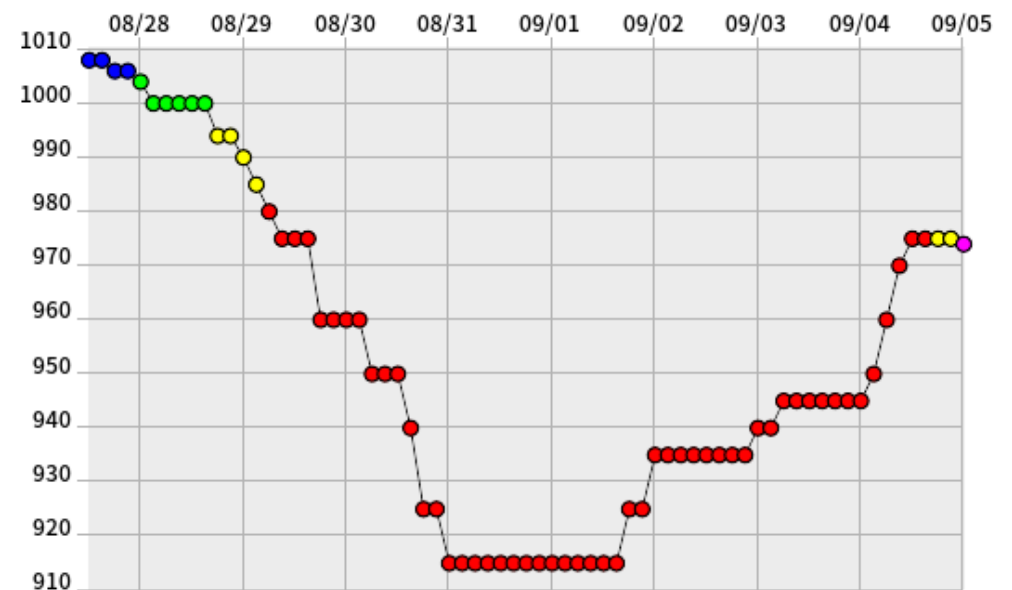
※これ以外の海域での呼び名やサイクロンという用語は
文献によって説明が異なるので注意が必要

2018年の台風第21号

経路



中心気圧

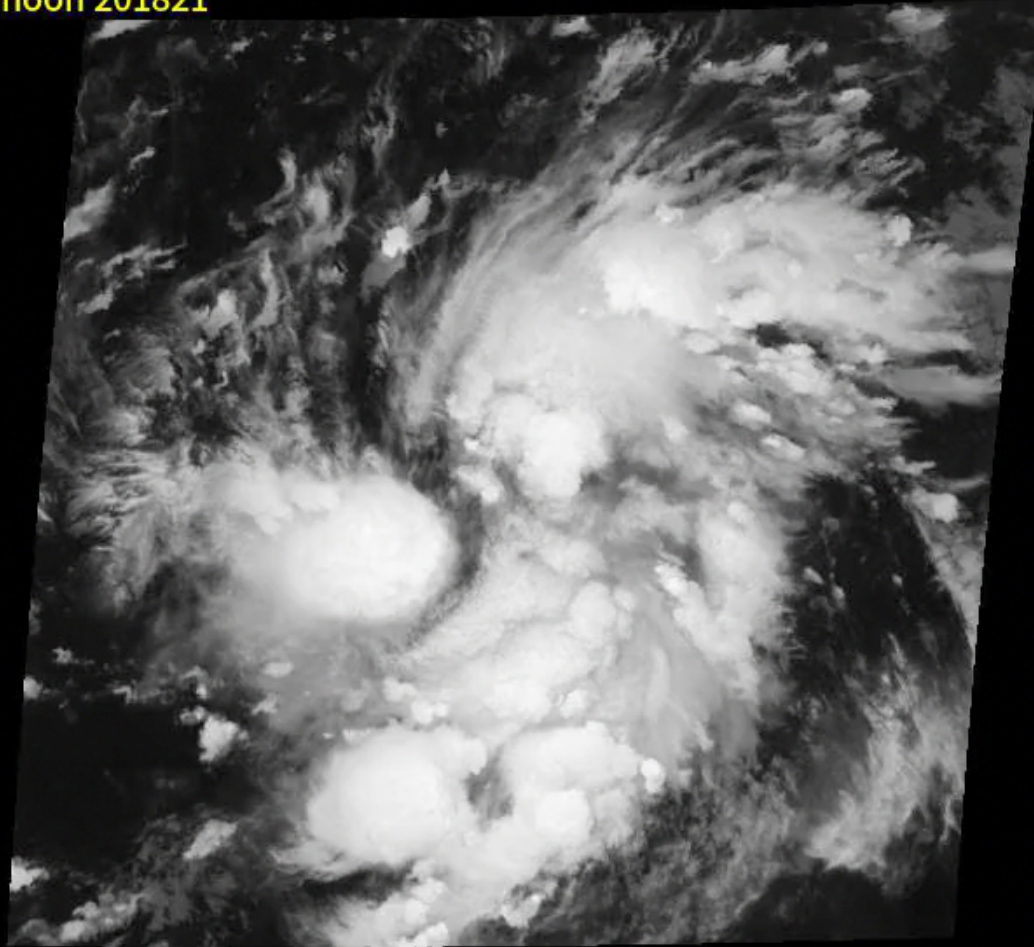


©デジタル台風

台風第21号：ひまわり8号の高頻度観測

2018-08-27 13:20:00 UTC
Typhoon 201821

www.digital-typhoon.org

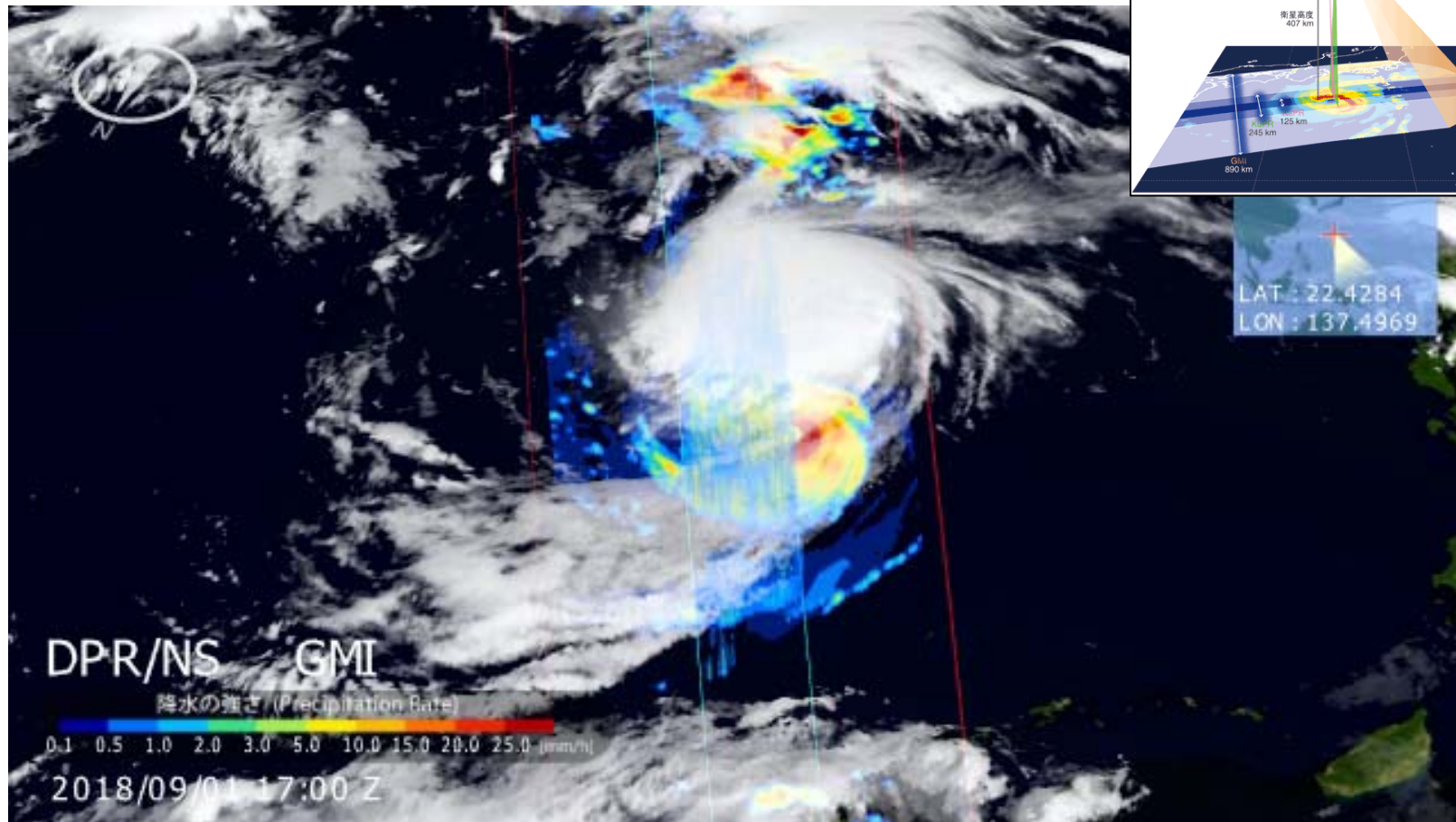


Himawari-8 [B13]

NII/NICT

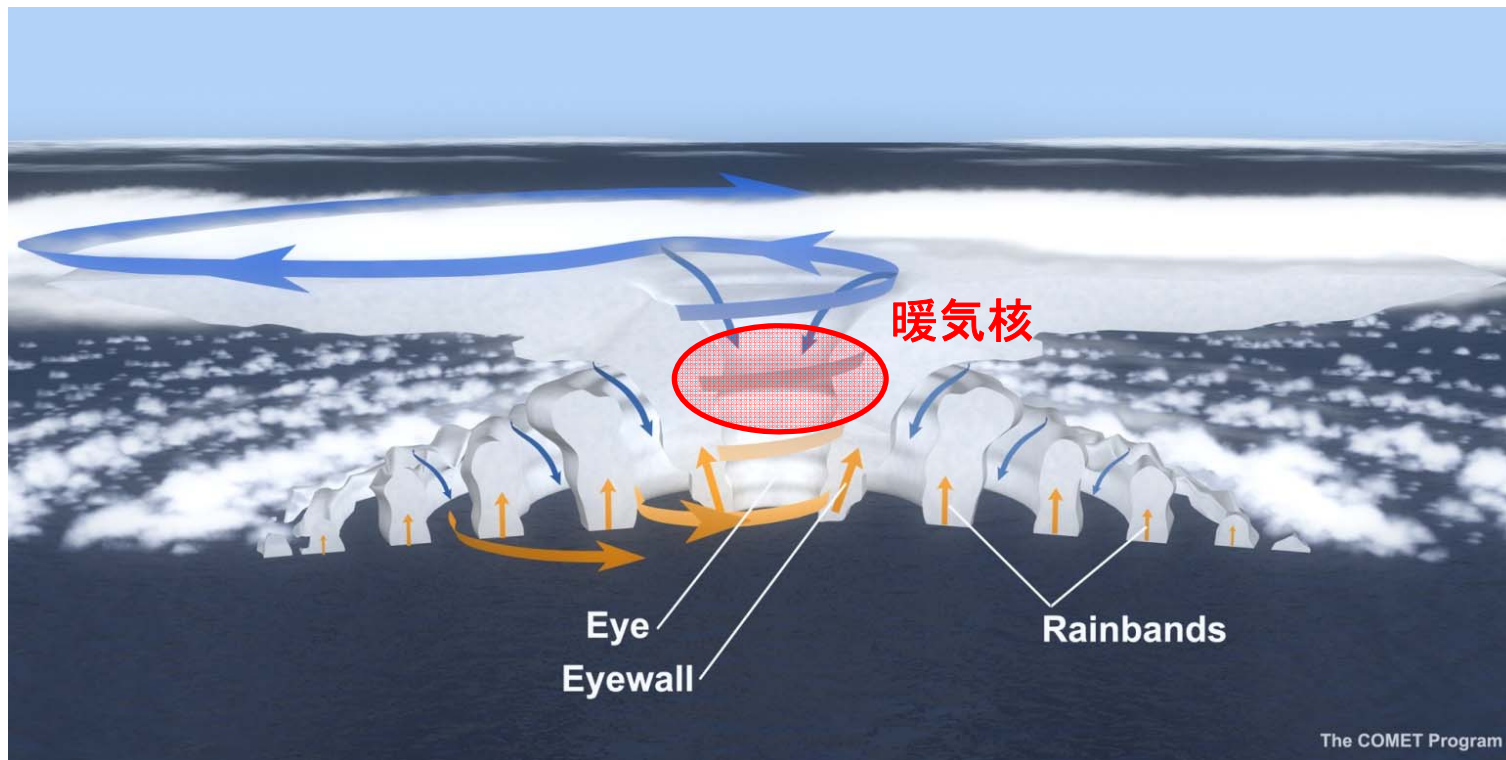
台風第21号：気象衛星がとらえる3次元構造

GPM主衛星の降水レーダーによる観測 (JAXAのサイトより)

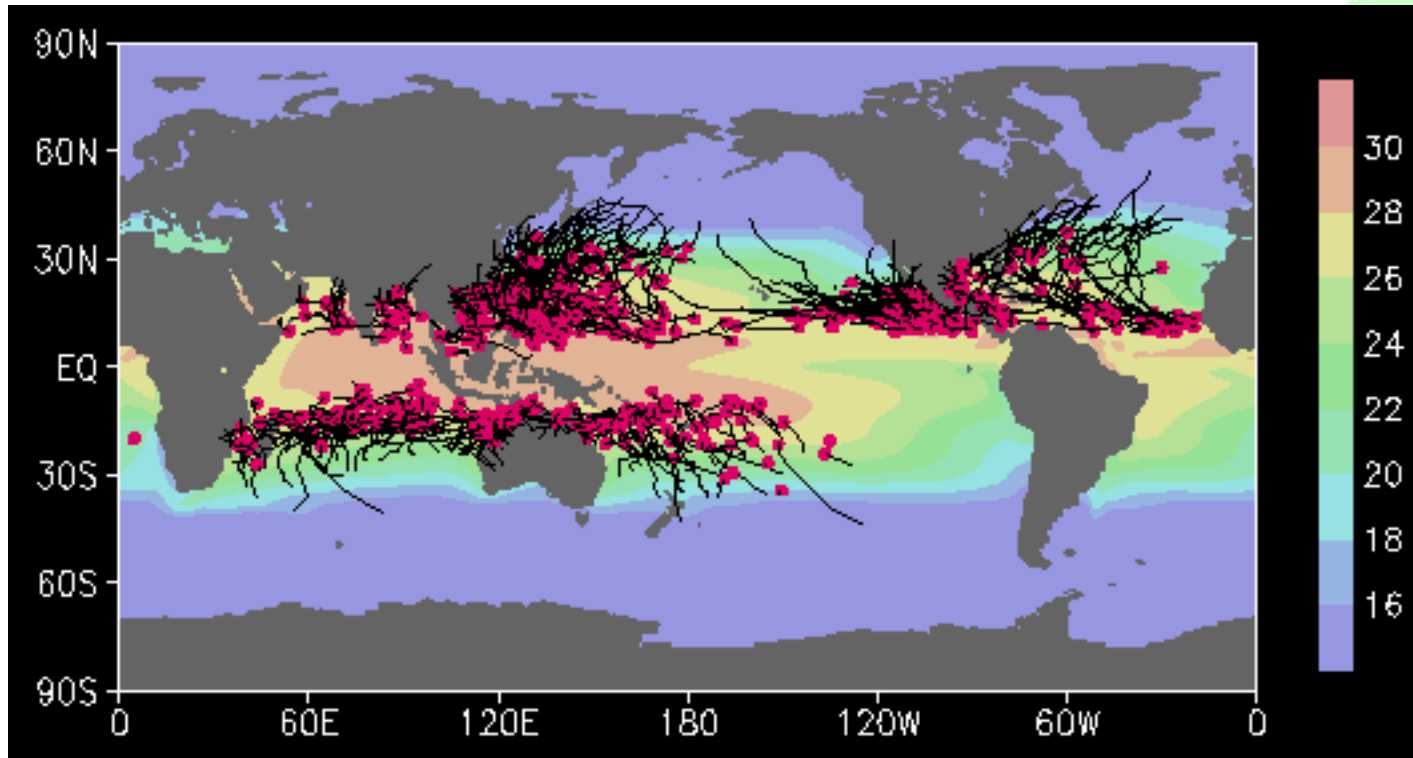


熱帯低気圧の構造とメカニズム

- 構造：軸対称、スパイラルバンド、眼、壁雲、暖気核
- エネルギー源：積雲対流の凝結熱



熱帯低気圧の分布

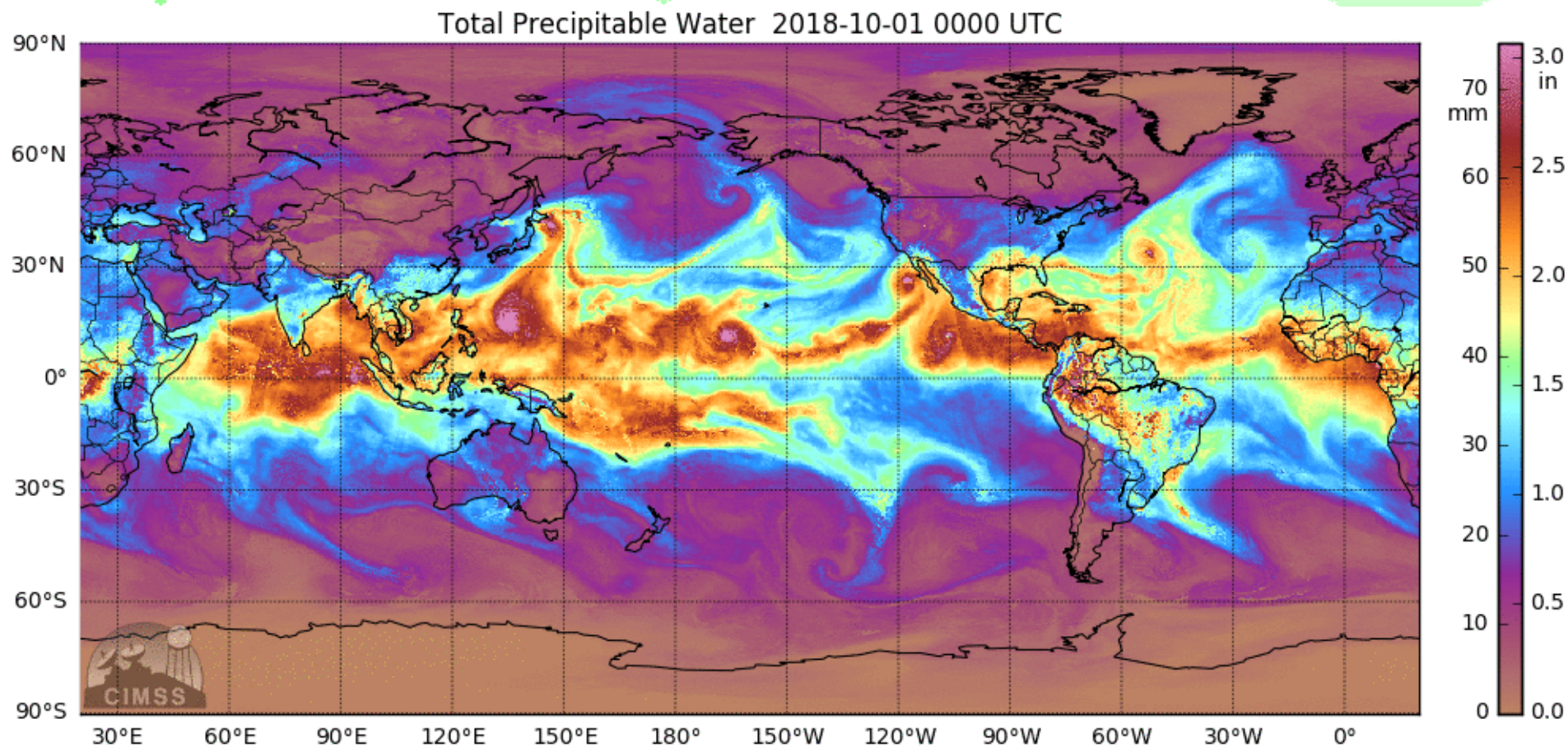


熱帯低気圧(1996-2000年)の発生位置(赤丸)・経路(黒線)と海面水温(シェード)

- ✓ 海面水温が高い(~26.5°C以上)の海域で発生
- ✓ 赤道では発生しない(地球の自転の効果が働かない)

衛星観測より推定した大気中の水蒸気量

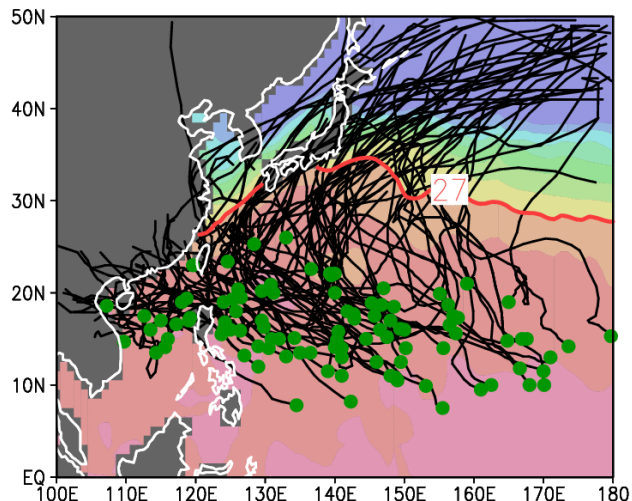
(画像はMIMIC-TPWのサイトより取得)



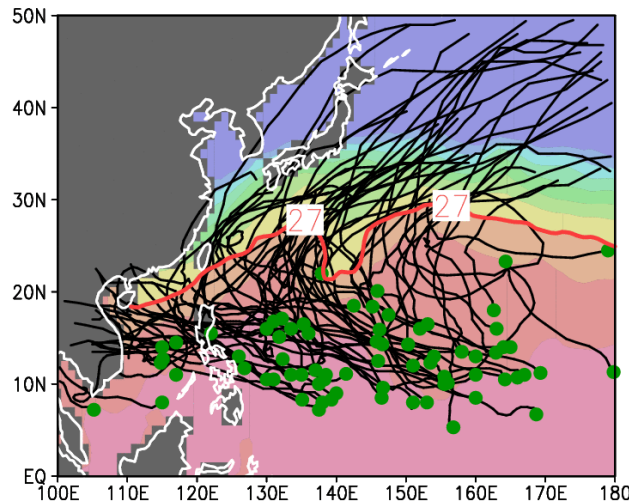
海面水温が高い熱帯には水蒸気が豊富にある

台風の季節性

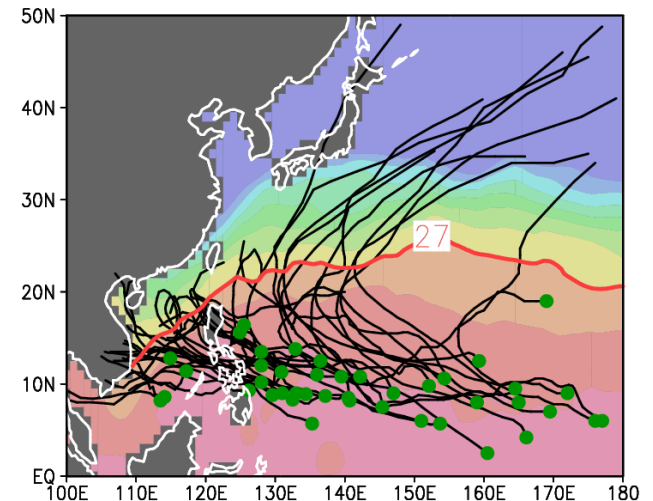
9月



10月



11月



21 22 23 24 25 26 27 28 29

台風(1986-2005年)の発生位置(緑丸)・経路(黒線)と海面水温(シェード)

- ✓ 9月から季節が進むと、海面水温は下がり、台風の発生も減少
- ✓ 11月には日本に向かう経路も少なくなる

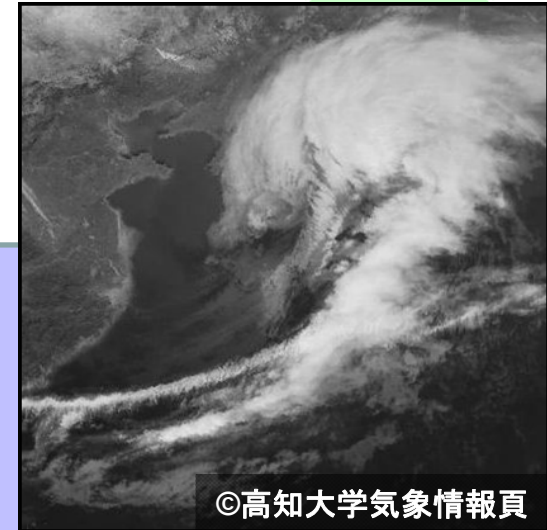
温帯低気圧

温帯低気圧（気象庁）

- ✓ 中緯度や高緯度に発生する
水平スケール数千km程度の低気圧で、
前線を伴うことが多い。
- ✓ 位置などを示す呼び方もある
e.g. 南岸低気圧、日本海低気圧、二つ玉低気圧

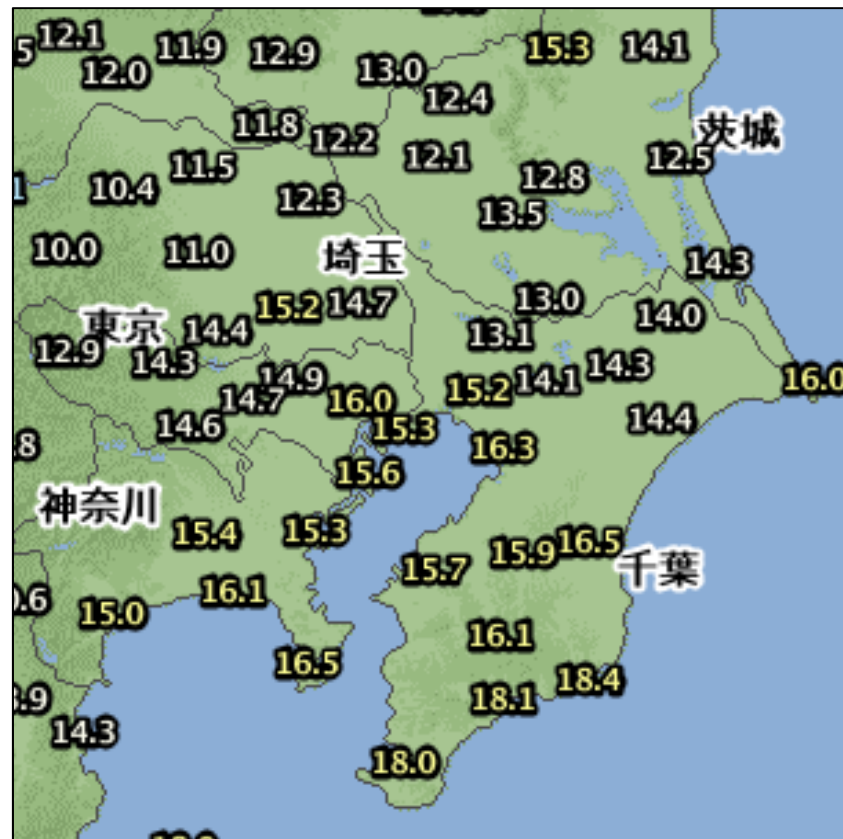
爆弾低気圧（気象庁では使用しない用語）

- ✓ 中心気圧が24時間で $24\text{hPa} \times \sin(\varphi)/\sin(60^\circ)$ 以上
低下する温帯低気圧（ φ は緯度）
e.g. 40°N では24時間で 17.8hPa 低下

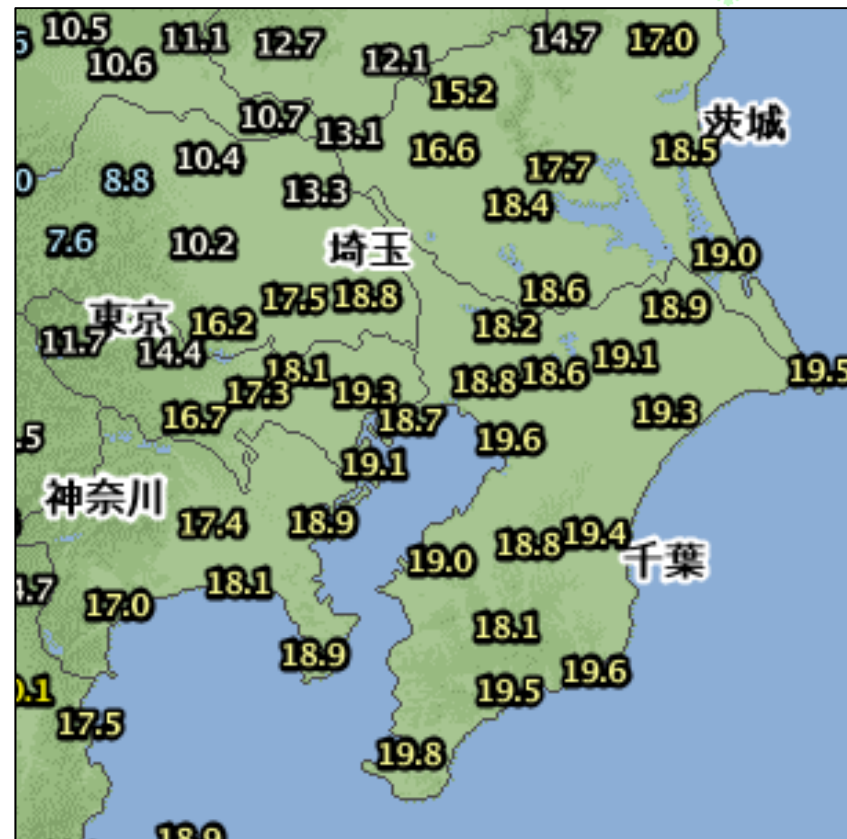


2013年11月15日の天気

午後3時の気温



午後9時の気温

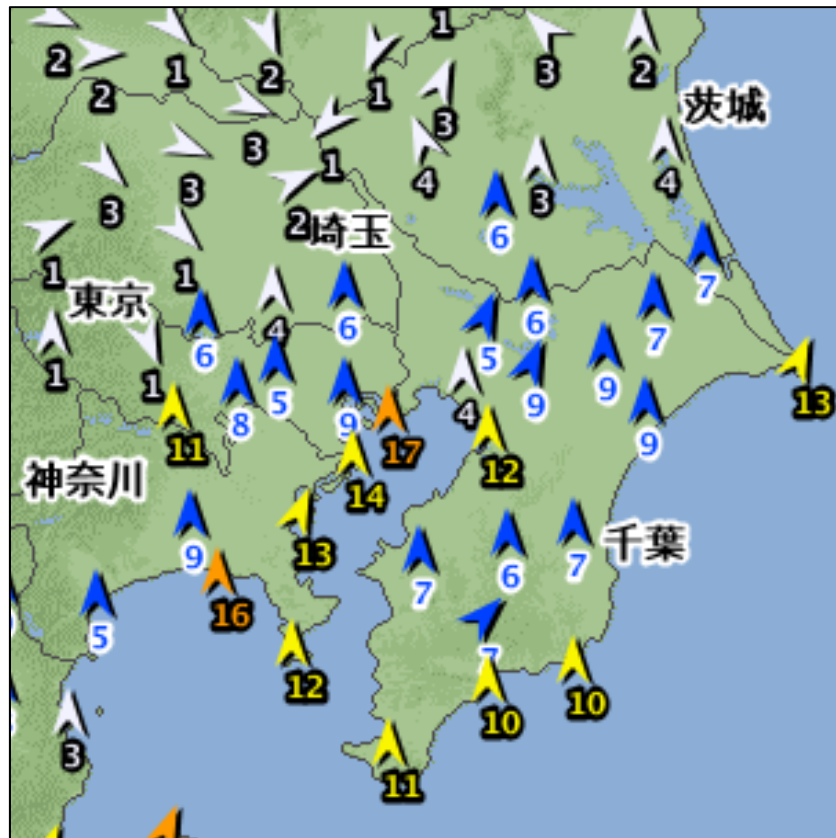


気象庁のサイトより

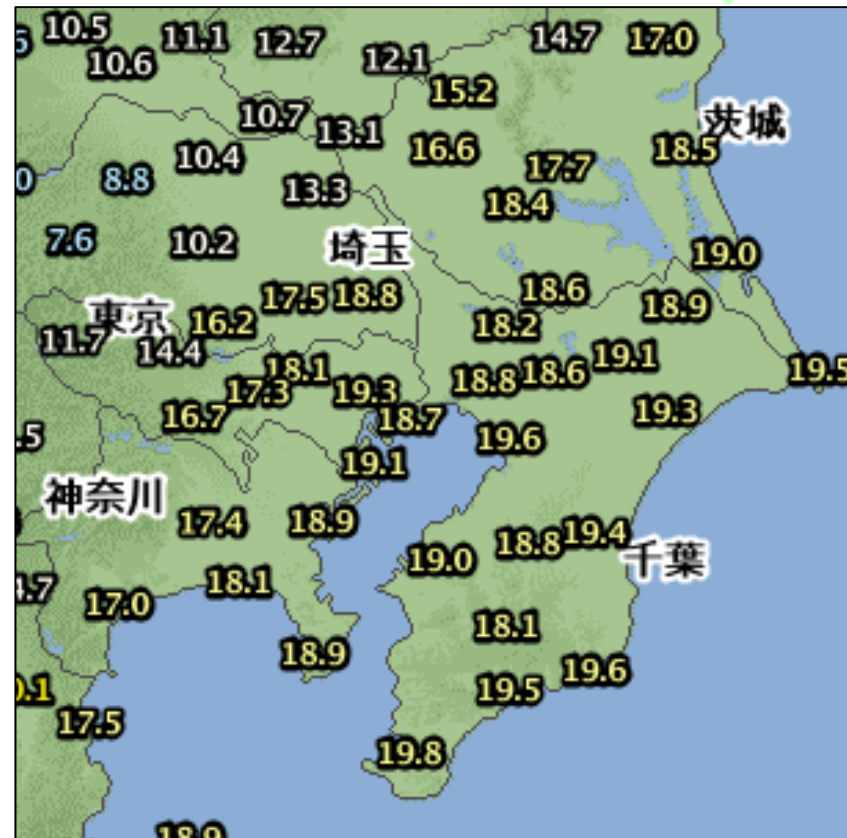
日没後に気温が上昇？

2013年11月15日の天気

午後9時の風



午後9時の気温

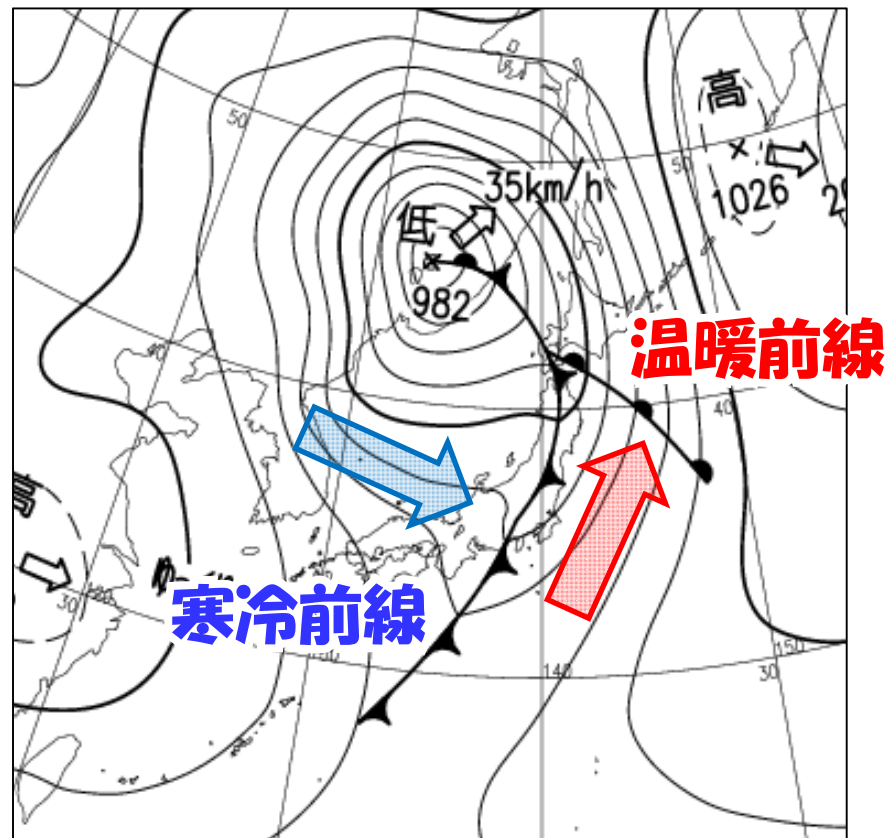


気象庁のサイトより

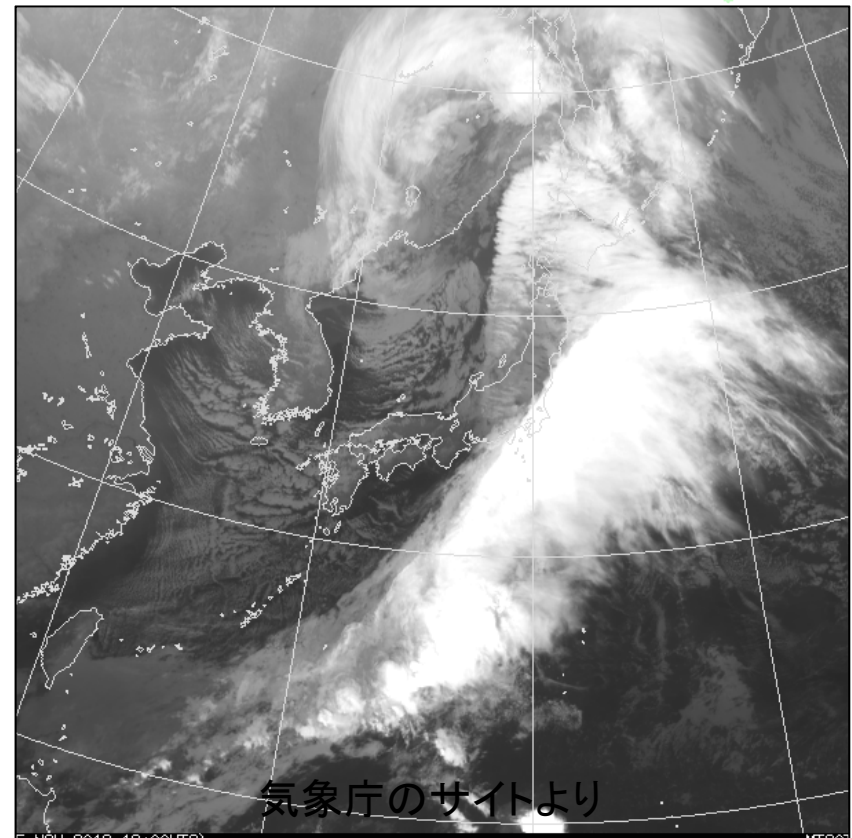
南風が気温を上昇させていた

2013年11月15日の温帯低気圧

午後9時の天気図



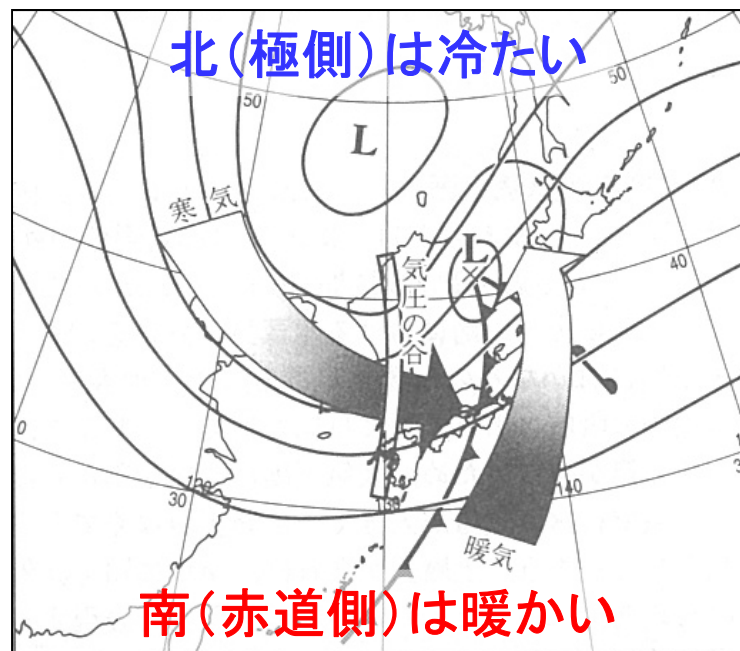
午後9時の衛星画像



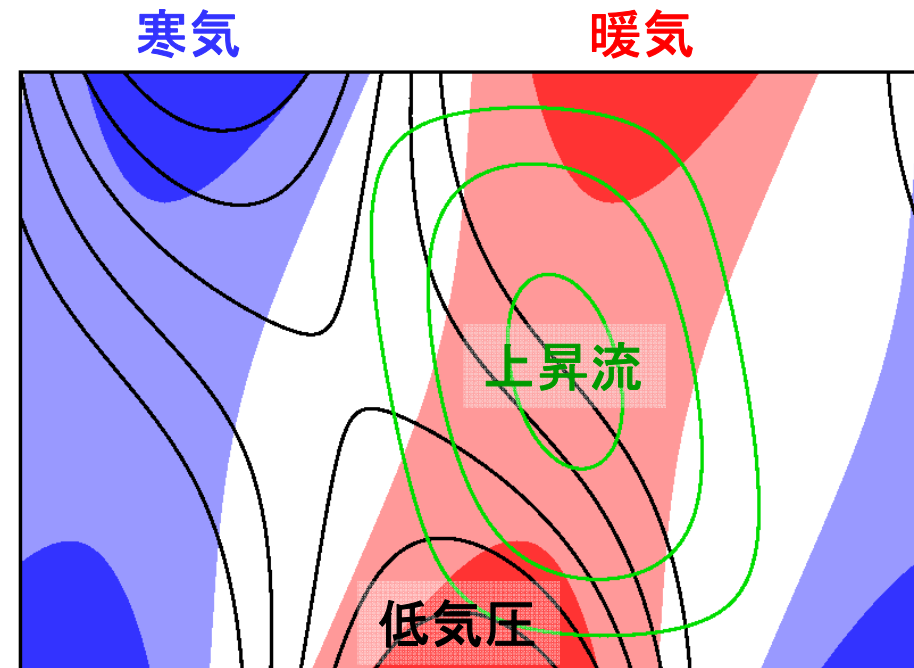
気象庁のサイトより

温帯低気圧の構造とメカニズム

- 構造：非軸対称、温暖前線・寒冷前線、コンマ状の雲パターン
- エネルギー源：温度の南北勾配と熱の輸送（傾圧不安定）

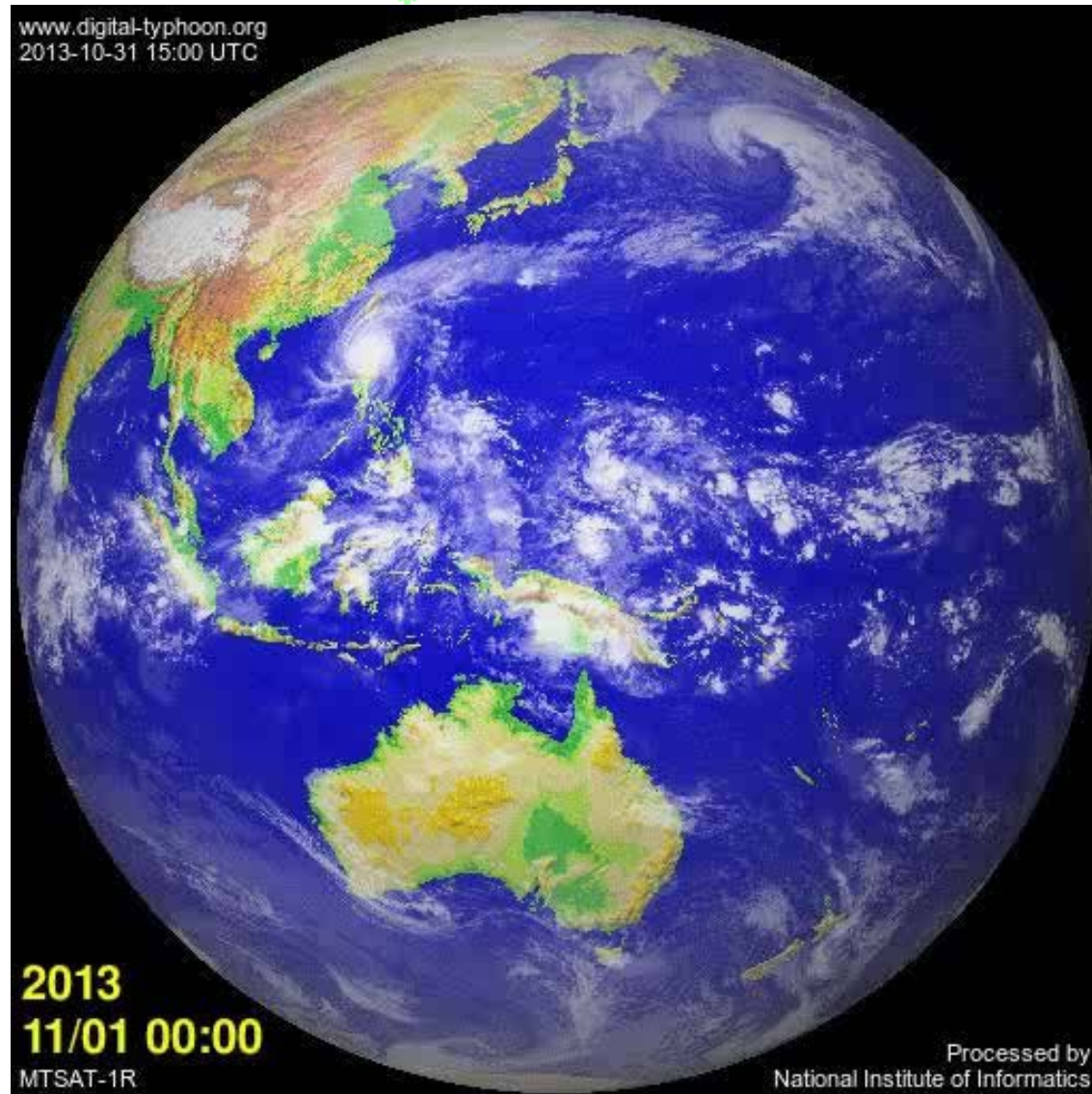


温帯低気圧に伴う風
(一般気象学, 小倉義光著)

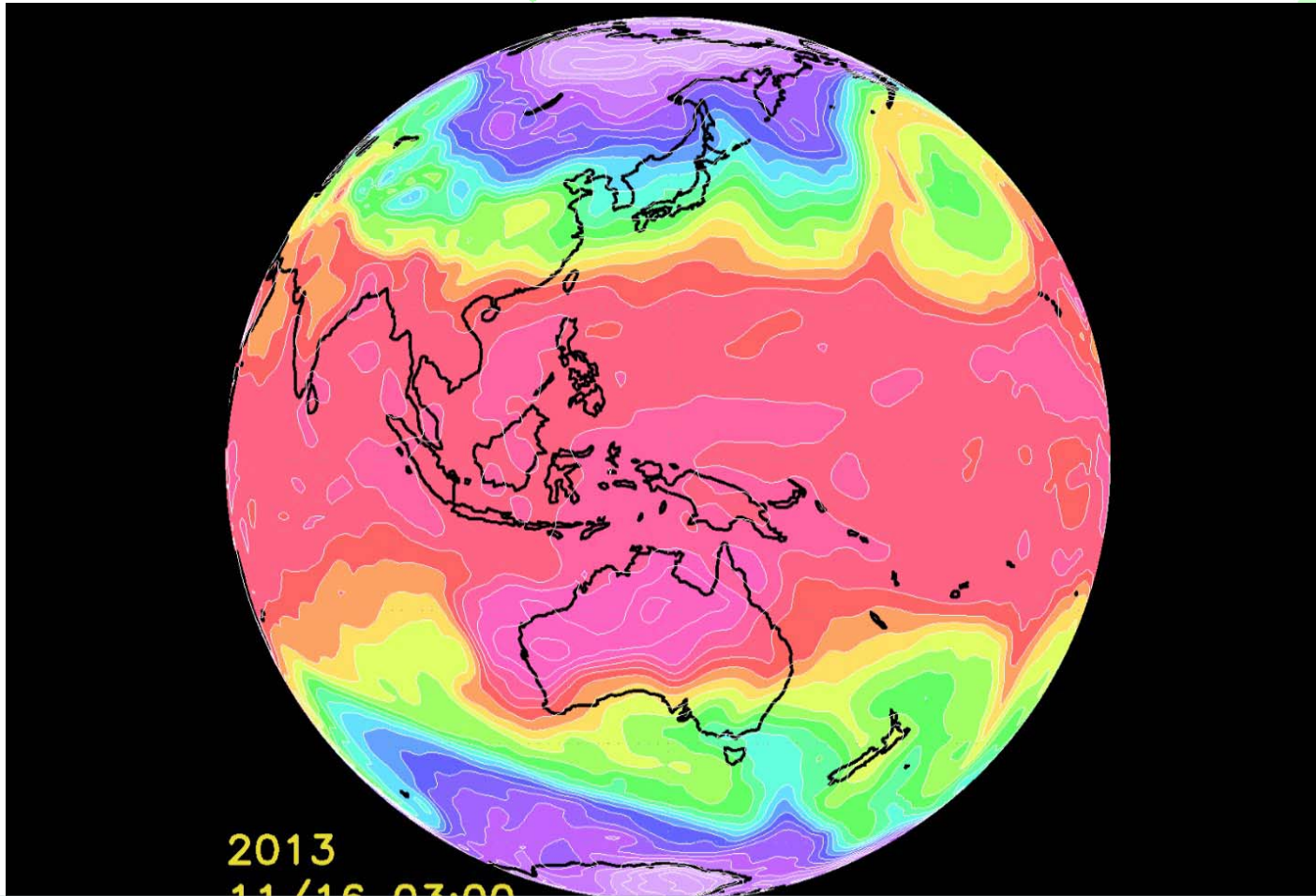


傾圧不安定波の東西鉛直断面
低気圧(黒線)、温度(シェード)、上昇流(緑線)

2013年11月後半の雲の動き



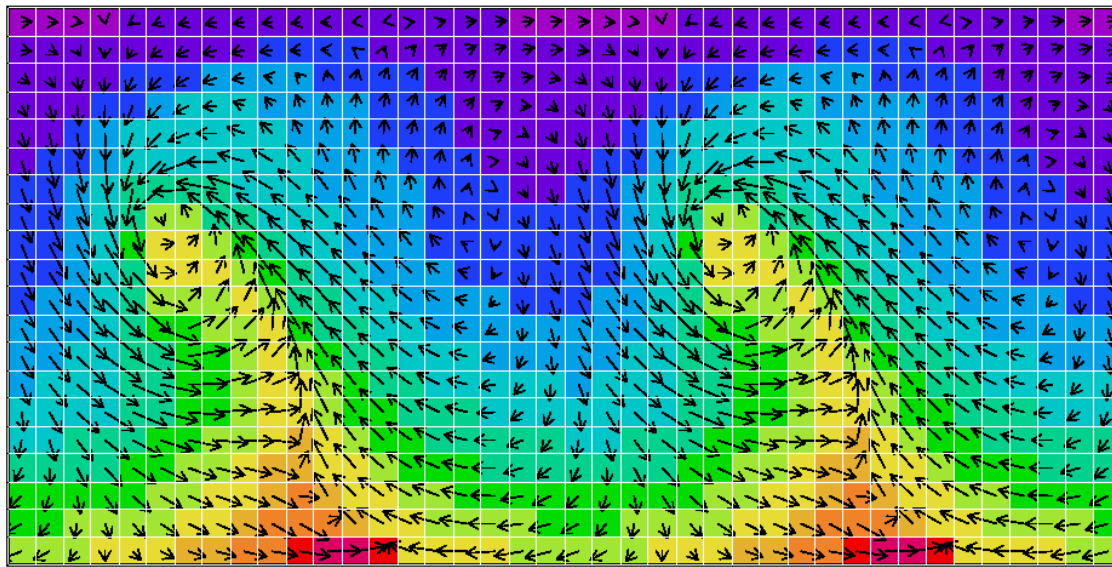
2013年11月の気温（高度約1500m）



- ✓ 温度勾配の大きな緯度で温帯低気圧は発達している
- ✓ 温帯低気圧は地球の熱を南北に混ぜている

数値シミュレーション

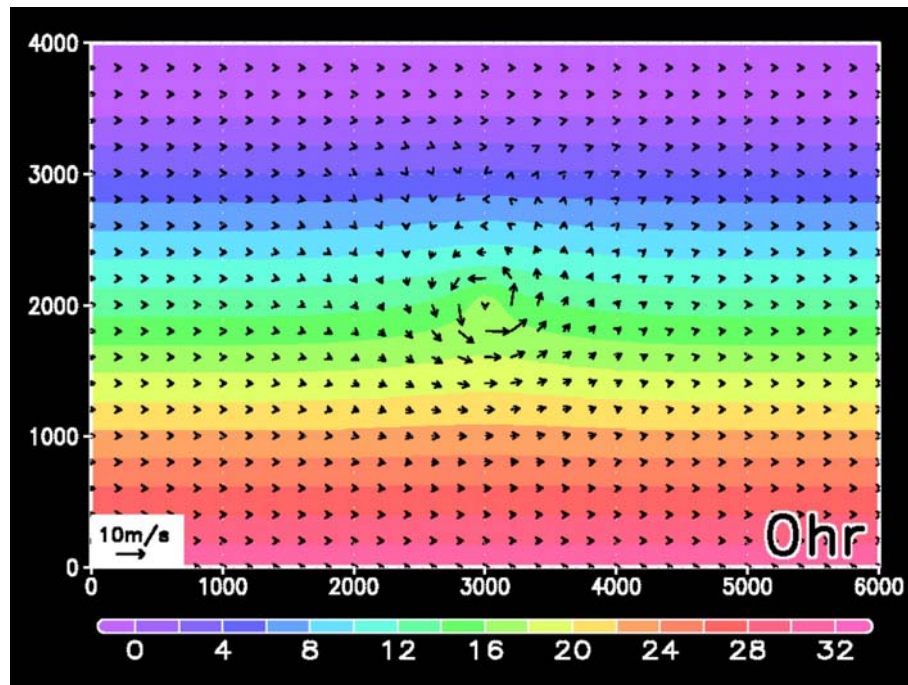
- ✓ 大気の3次元構造を詳細に調べることができる
- ✓ 現実の大気 → 天気予報に使える
- ✓ 理想化した大気 → 理論的な研究に使える



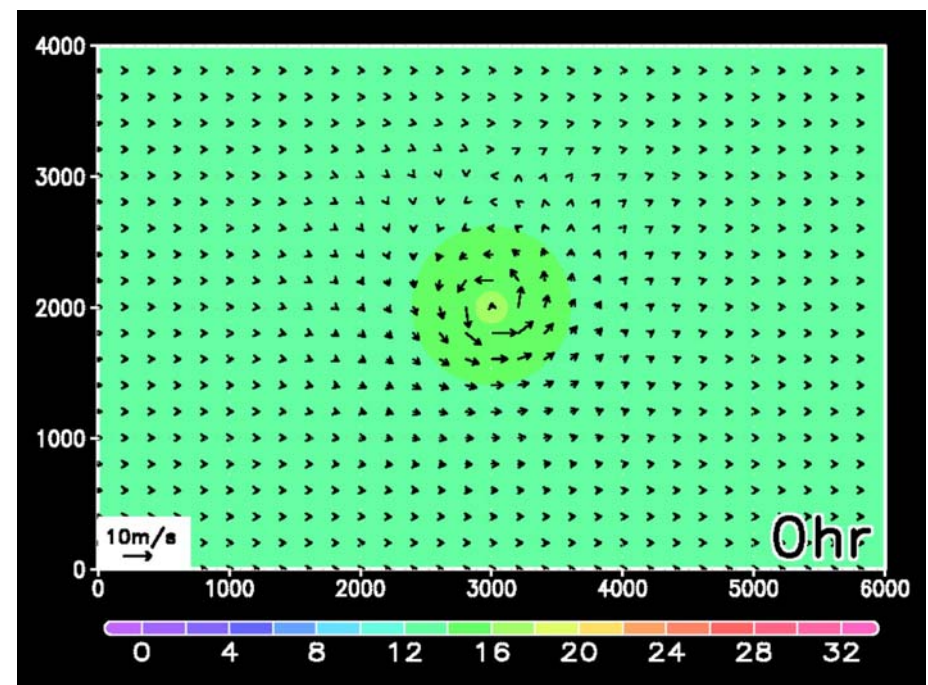
格子点ごとに風や温度を計算

温帯低気圧の理想化実験：水平温度勾配の影響

温度勾配あり



温度勾配なし



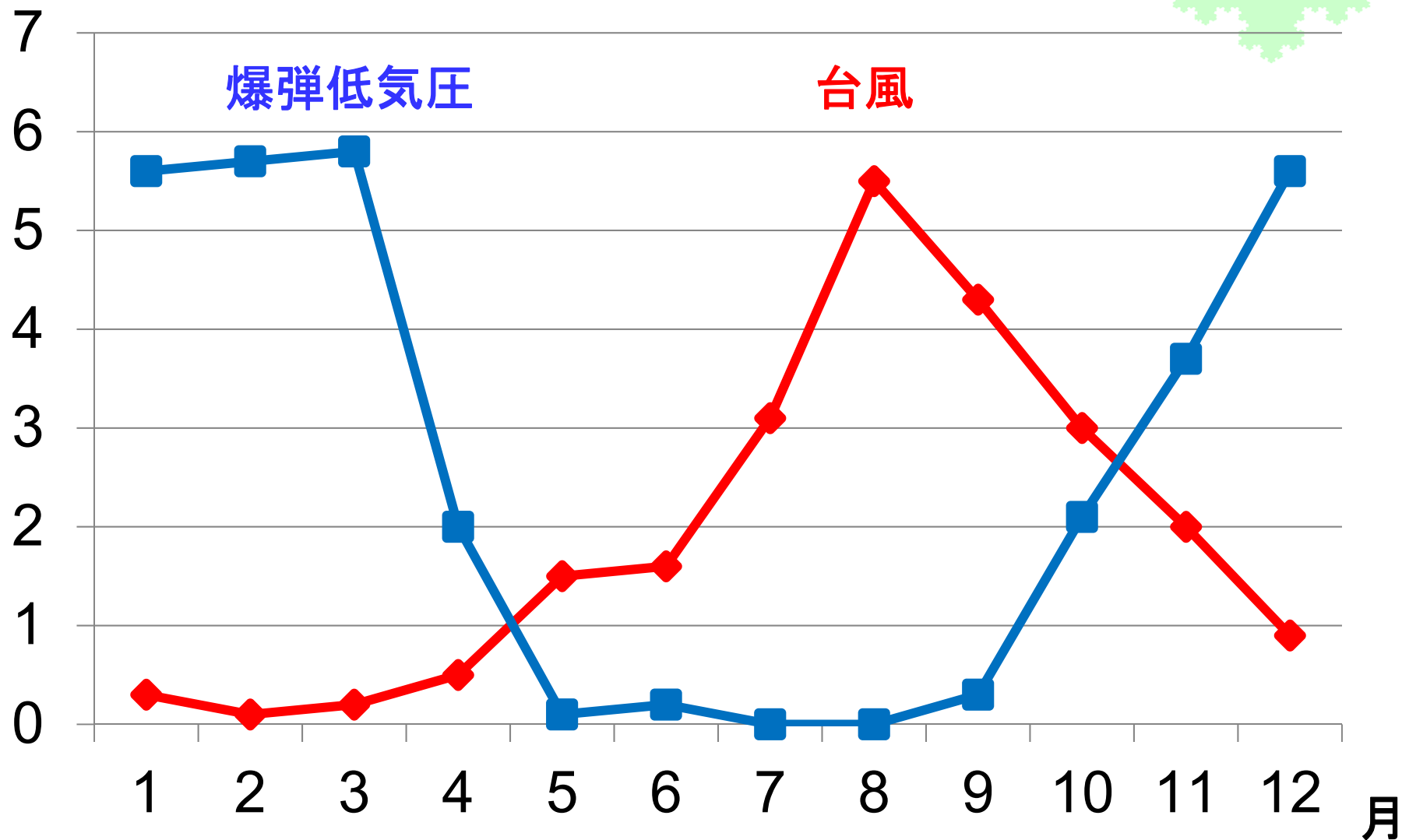
下層の温度(シェード)と水平風(矢印)

3次元の大気モデル(東西方向は周期境界)を用い、初期場に弱い渦を与えている

熱帯低気圧と温帯低気圧の季節の違い

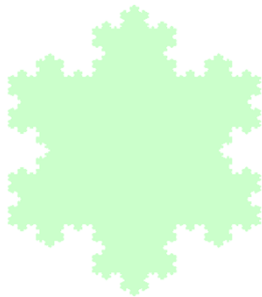
(データは気象庁と爆弾低気圧データベースのサイトから取得)

個数

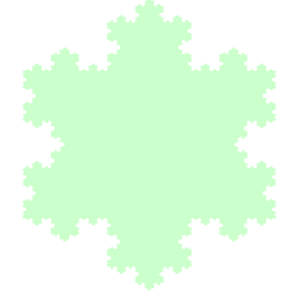
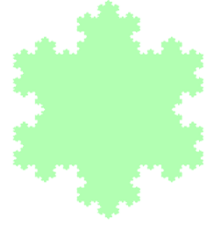
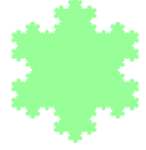




まとめ：熱帯低気圧と温帯低気圧

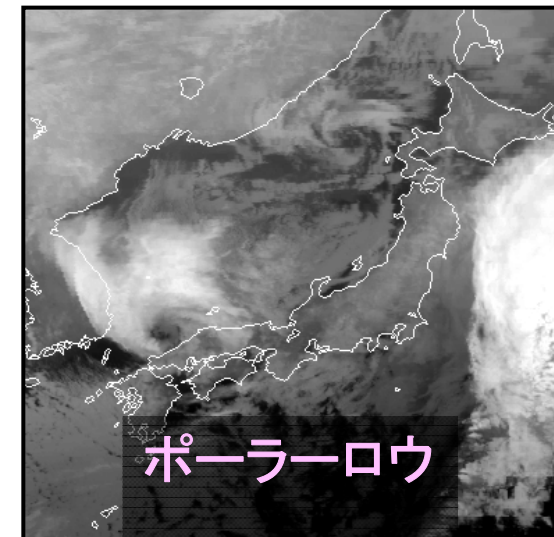
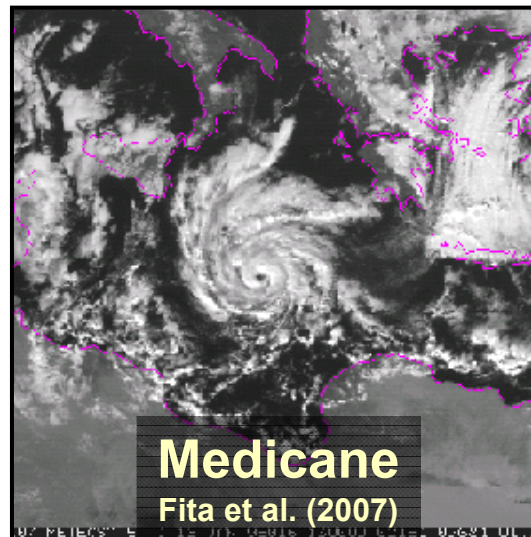
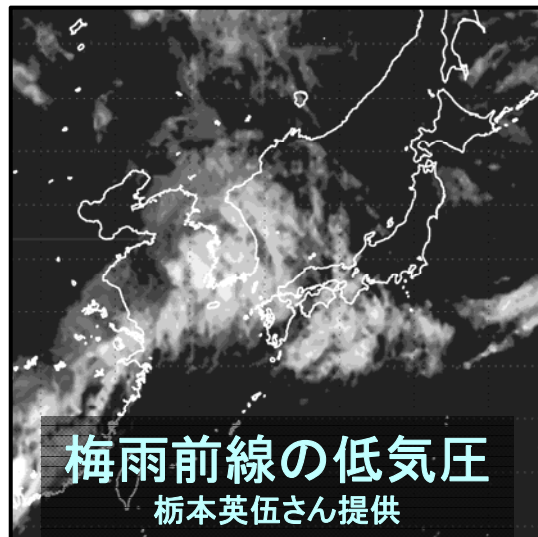
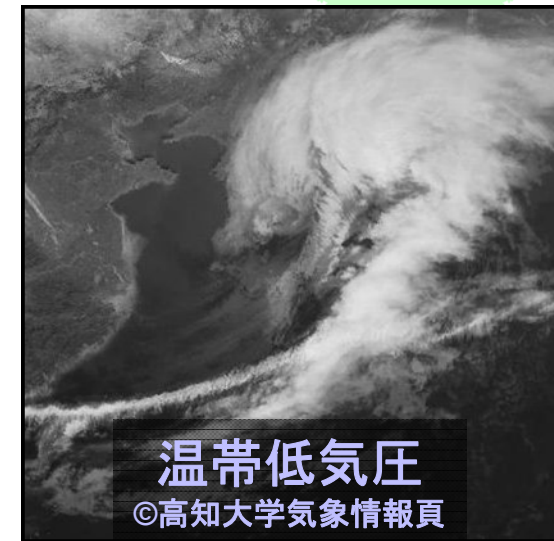
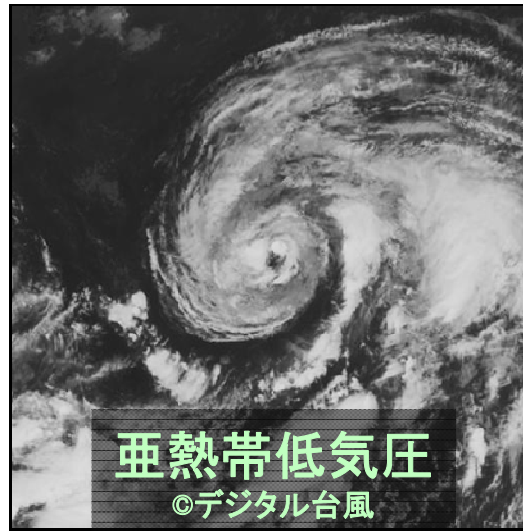
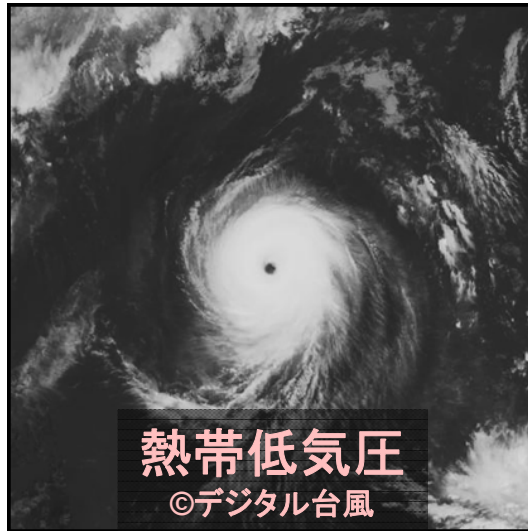


	熱帯低気圧	温帯低気圧
構造	軸対称、眼、壁雲、 スパイラルバンド	温暖前線・寒冷前線、 西への傾き
発生環境	低緯度の 暖かい海の上	中緯度の大きな 南北温度勾配
エネルギー源	積雲対流の凝結熱	温度勾配からの 熱輸送
季節	夏～秋	秋～冬～春

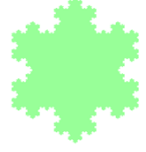


3. 低気圧の多様性

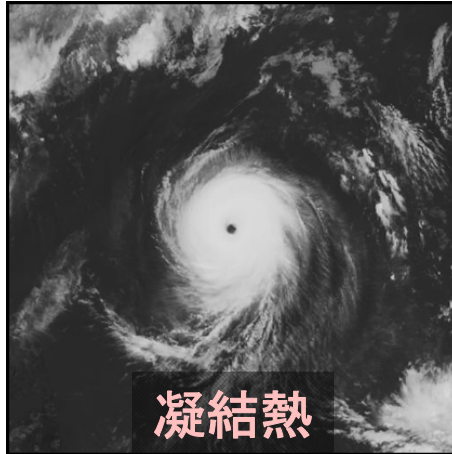
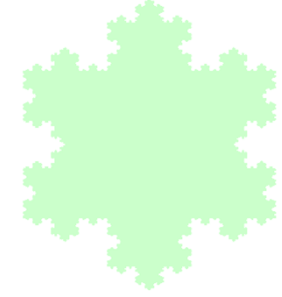
地球上のさまざまな低気圧



※これらの他にもあります(モンスーン低気圧、北極低気圧など)

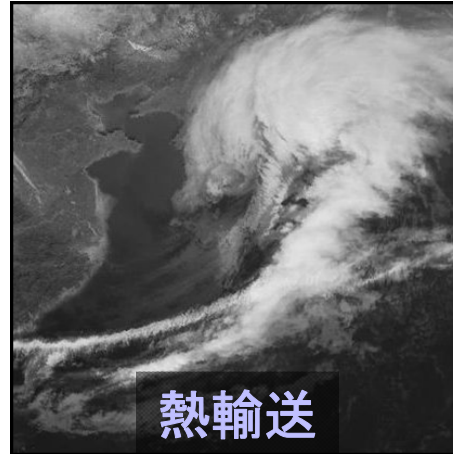


ハイブリッドな低気圧



凝結熱

+



熱輸送

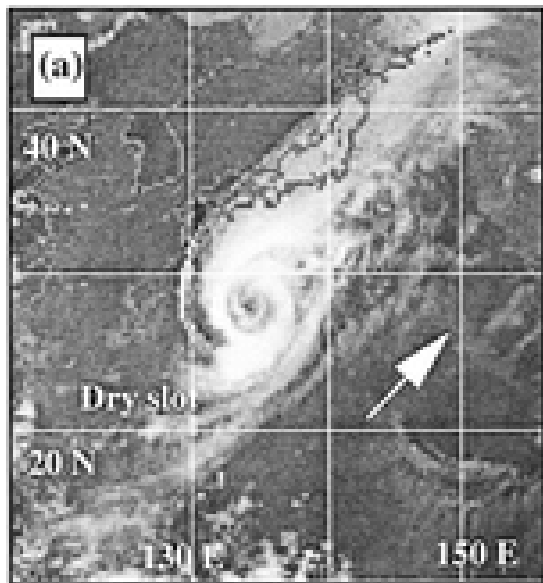
=

?

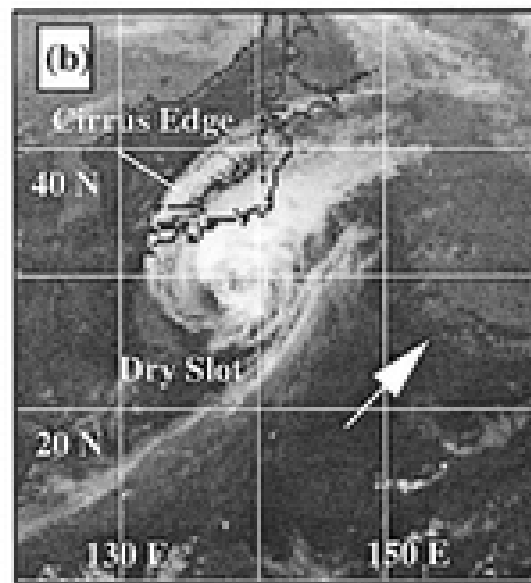
温帯低気圧「化」

- 台風が中緯度の温度勾配によって、温帯低気圧に変化する
- 台風とは異なる強風や大雨を分布を伴う
- 条件によって再発達する場合がある(弱まるとは限らない)

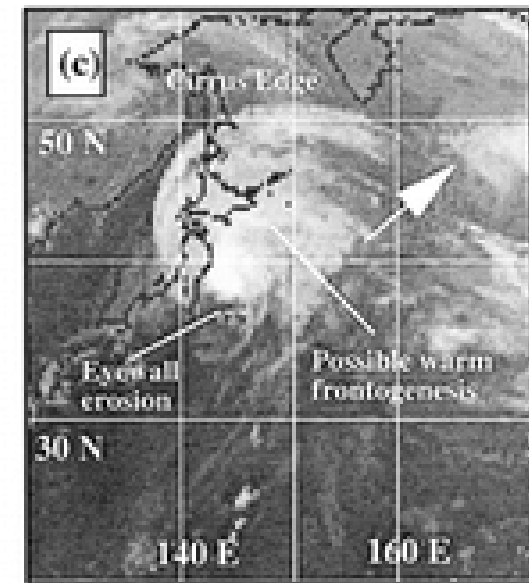
9月21日12時



9月22日3時



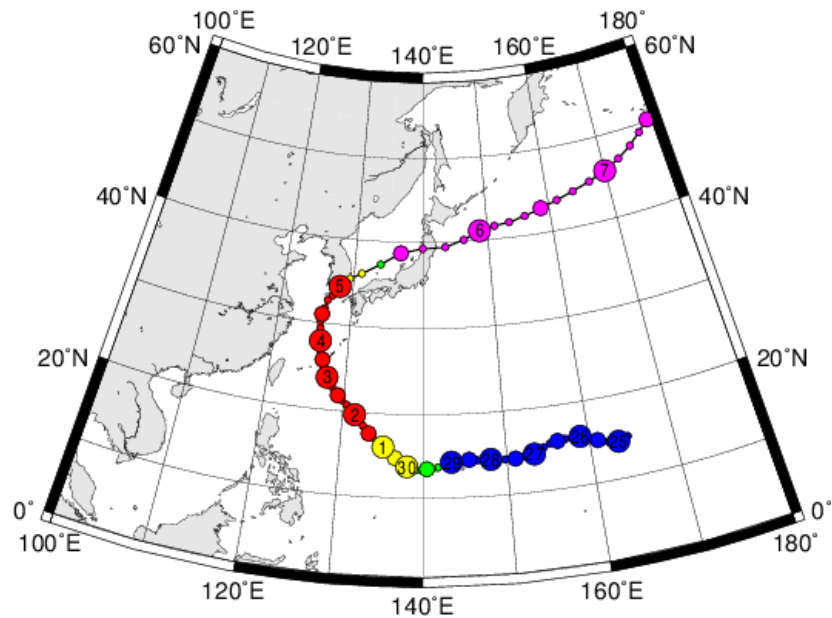
9月22日21時



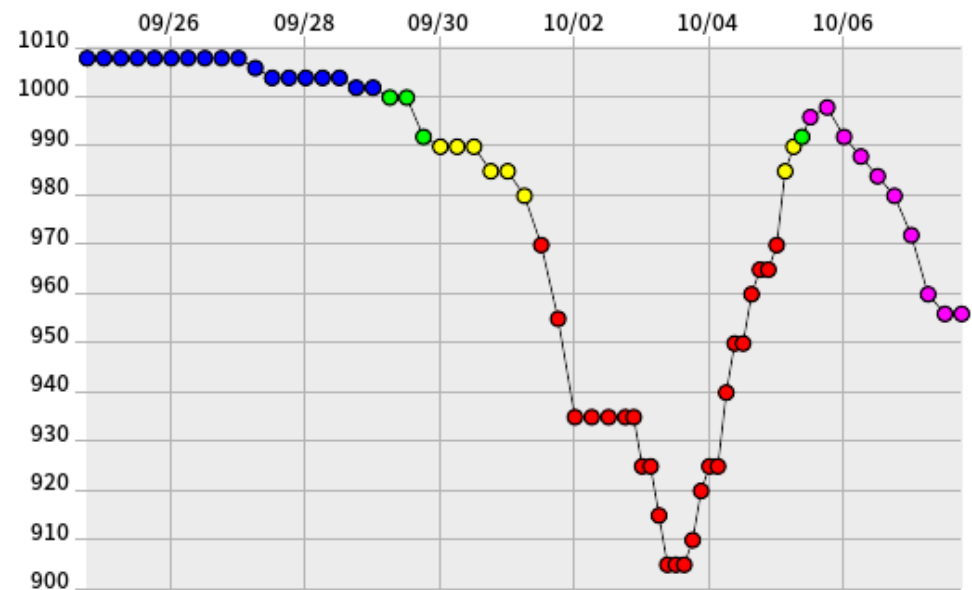
1999年9月23日21時に温帯低気圧化する直前の台風17号 (Klein et al. 2000)

2016年の台風第18号

経路



中心気圧

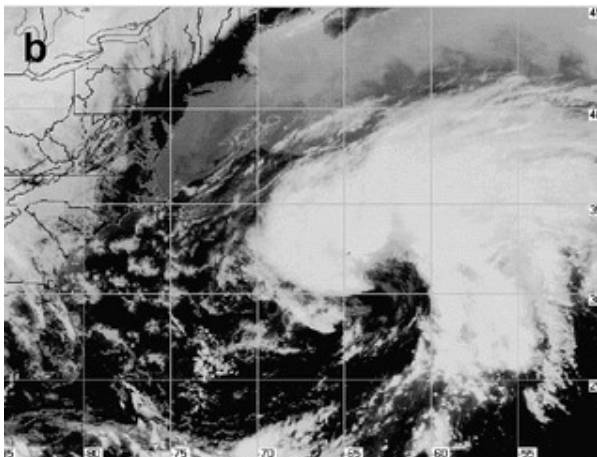


©デジタル台風

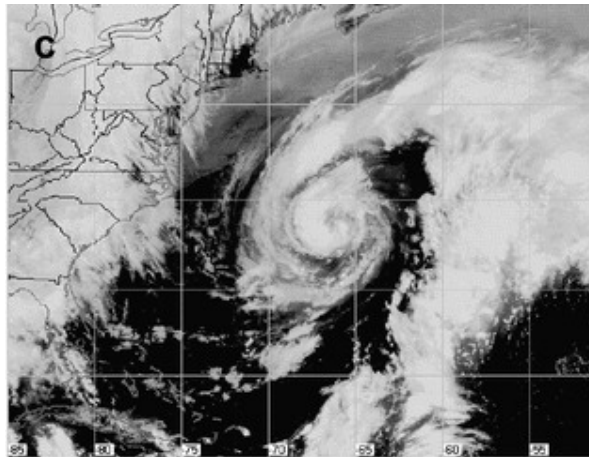
熱帯低気圧「化」

- 温帯低気圧などが熱帯低気圧に変化することもある
 - 北大西洋上で多くの報告がある。
- ※台風が弱まって熱帯低気圧になる現象と同じ名称なので注意

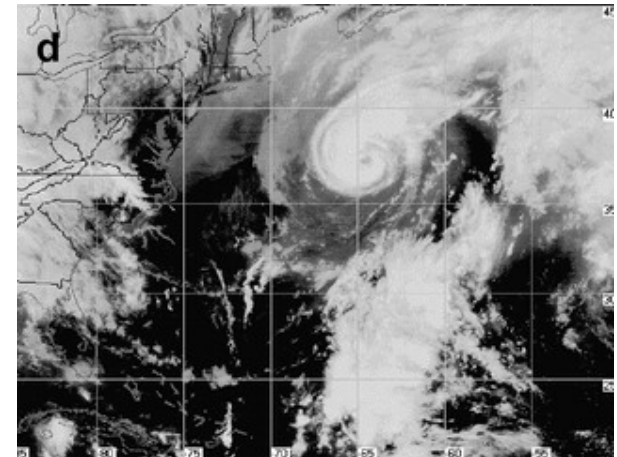
10月11日18UTC



10月12日18UTC



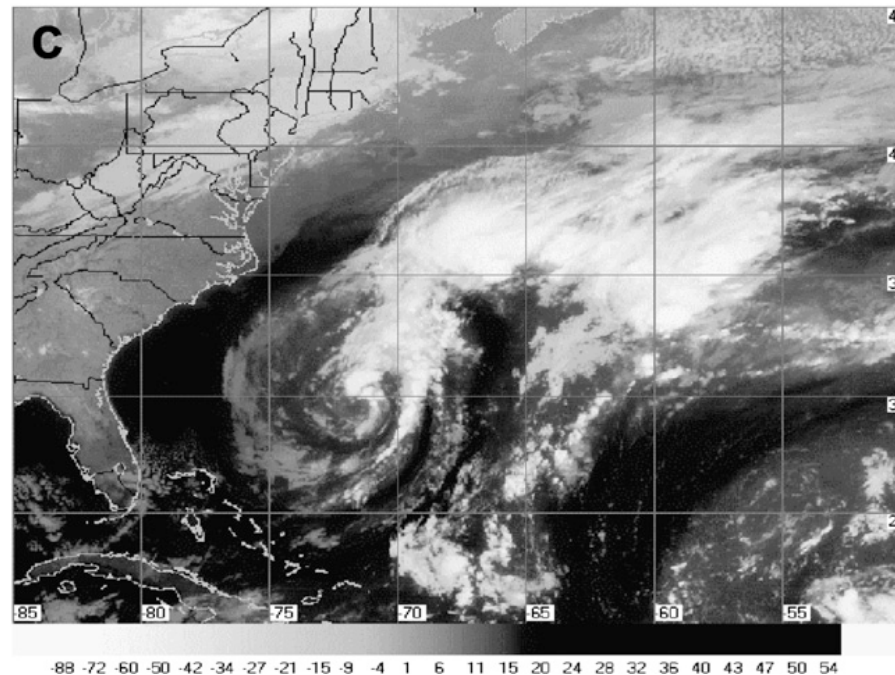
10月13日18UTC



2001年に北大西洋上で熱帯低気圧化によって発生したHurricane Karen
(Guishard et al., 2009)

亜熱帯低気圧

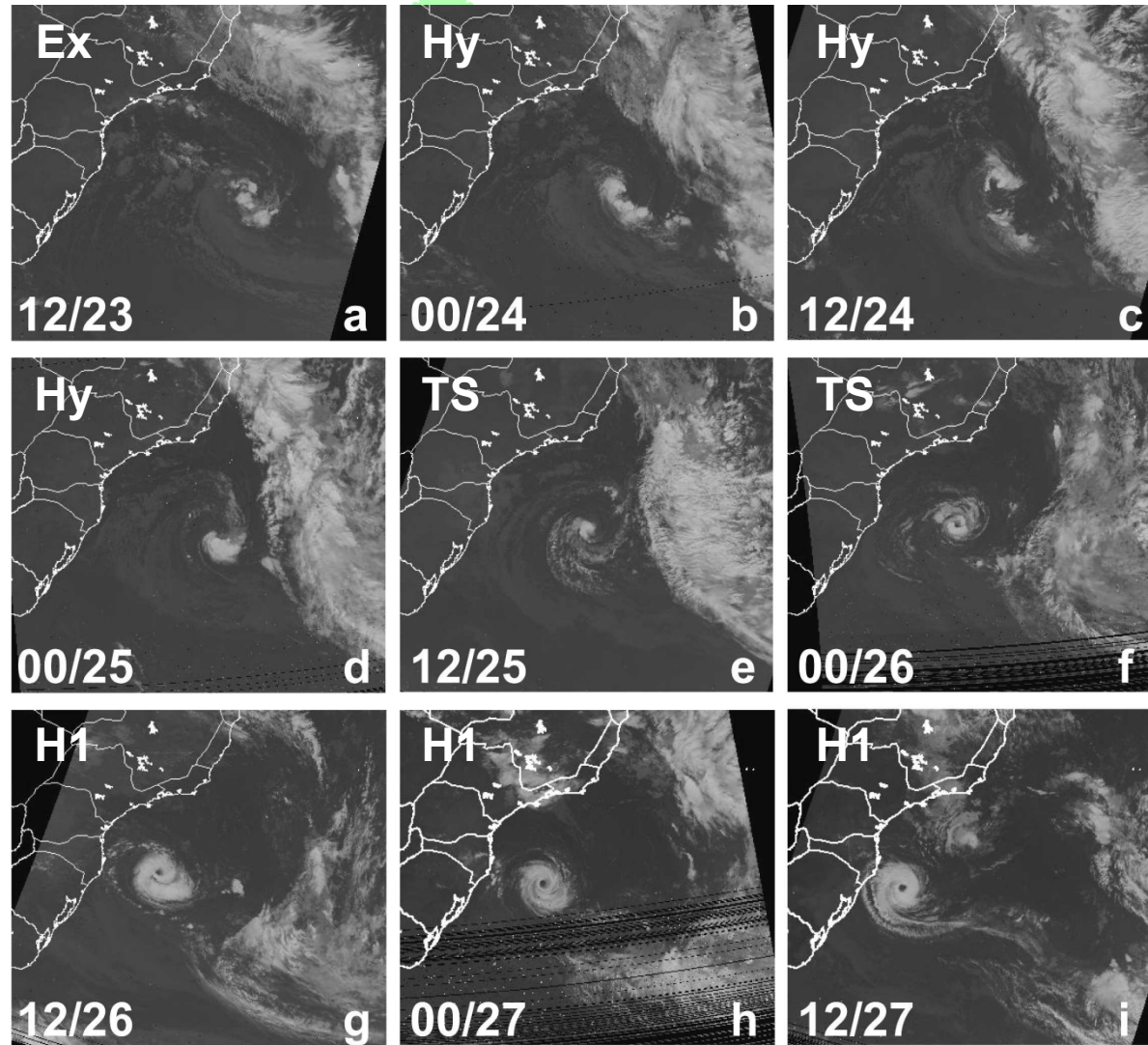
- 温帯低気圧のように温度勾配からエネルギーを得る一方で、熱帯低気圧のように凝結熱からもエネルギーを得る(ハイブリッド)
- 北大西洋上で多くの報告がある
- 定義は文献によって異なる



2000年10月16日の北大西洋上の亜熱帯低気圧 (Guishard et al. 2009)

南大西洋初のハリケーン: Catarina (2004)

McTaggart-Cowan et al. (2006)

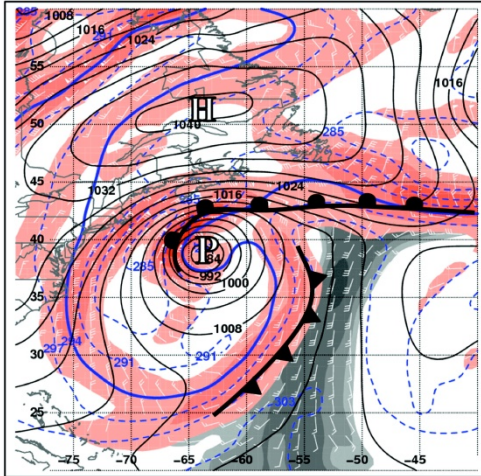


熱帯低気圧化: 温帯低気圧→ハイブリッド→ハリケーン

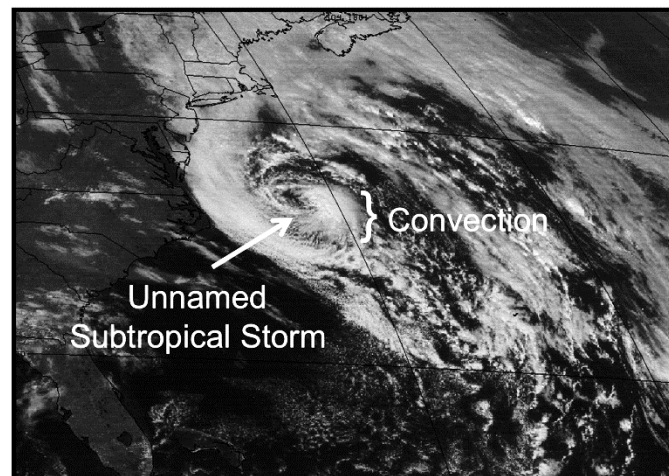
The Perfect Storm (1991)からのハリケーン発生

Cordeira and Bosart (2011)

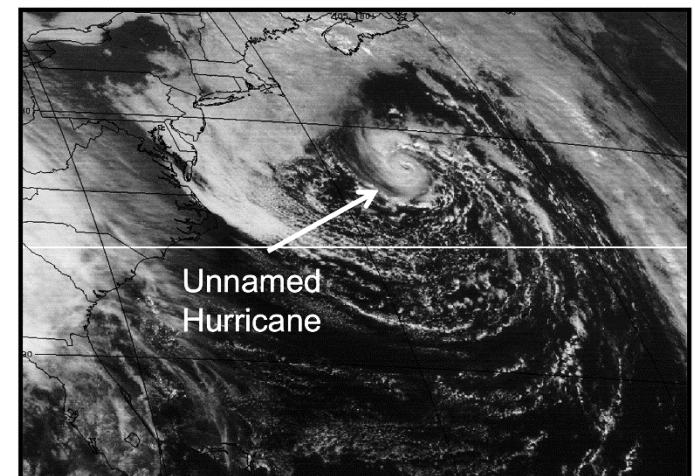
b. 1200 UTC 30 October



a. 1801 UTC 31 October



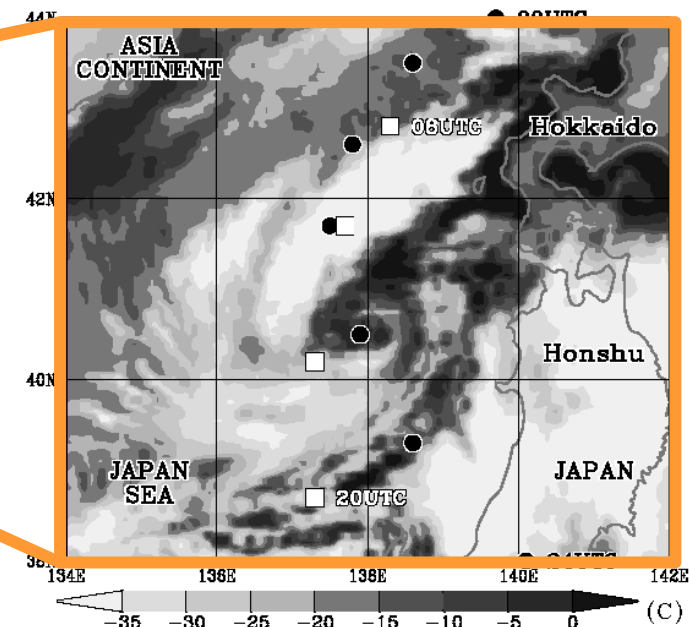
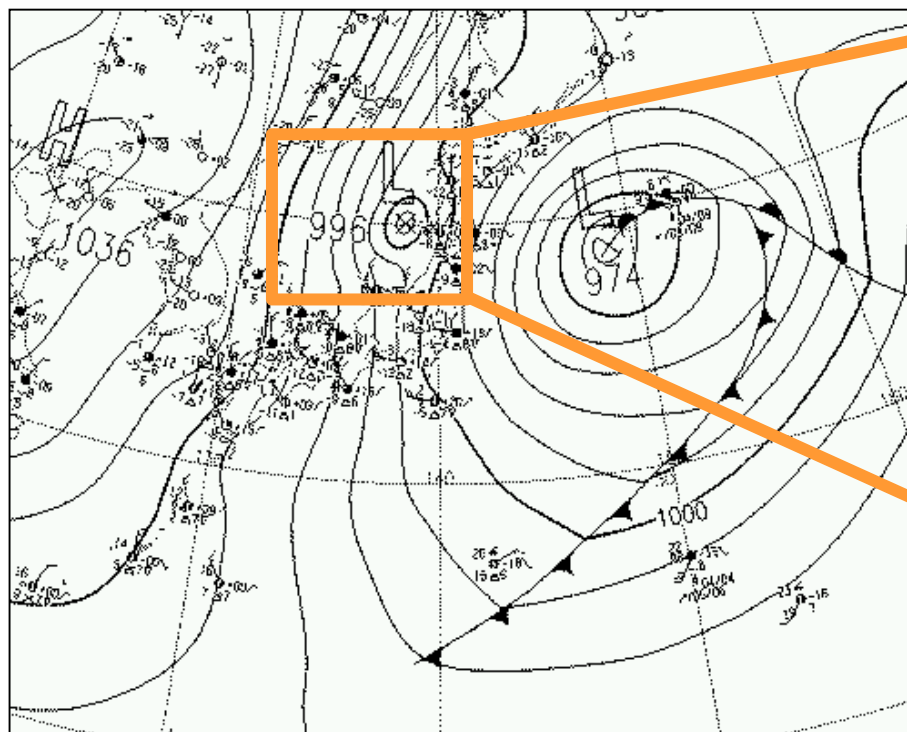
b. 1801 UTC 1 November



熱帯低気圧化：温帯低気圧→亜熱帯低気圧→ハリケーン

ポーラーロウ(寒気内低気圧)

- 冬季の中高緯度の海洋上で発達するメソ低気圧 (200~1000km)
- 温帯低気圧の西側で寒気が吹き出す時に発生しやすい
- バレンツ海, ノルウェー海, ベーリング海, 日本海などで発生

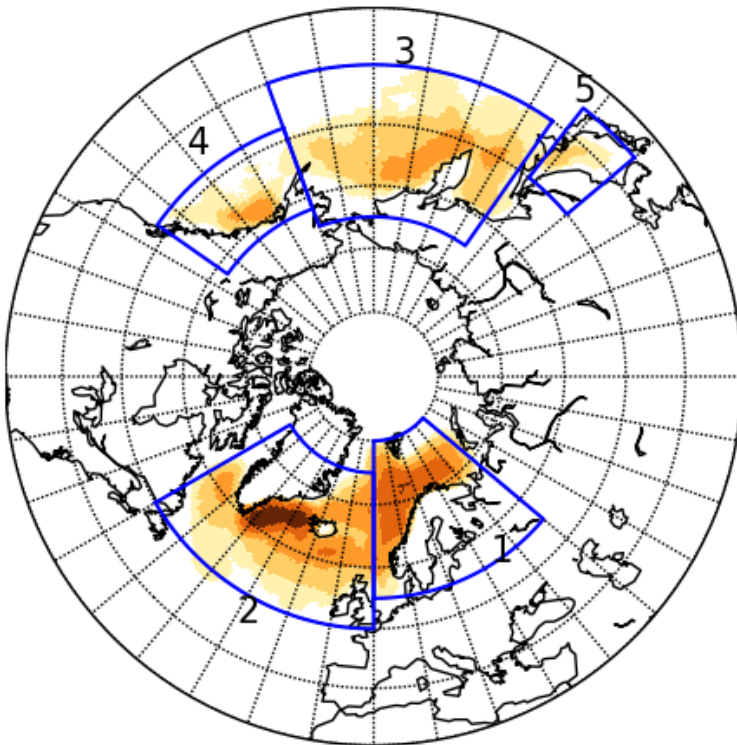


日本海に発生したポーラーロウの
雲パターン (1997年1月21日)

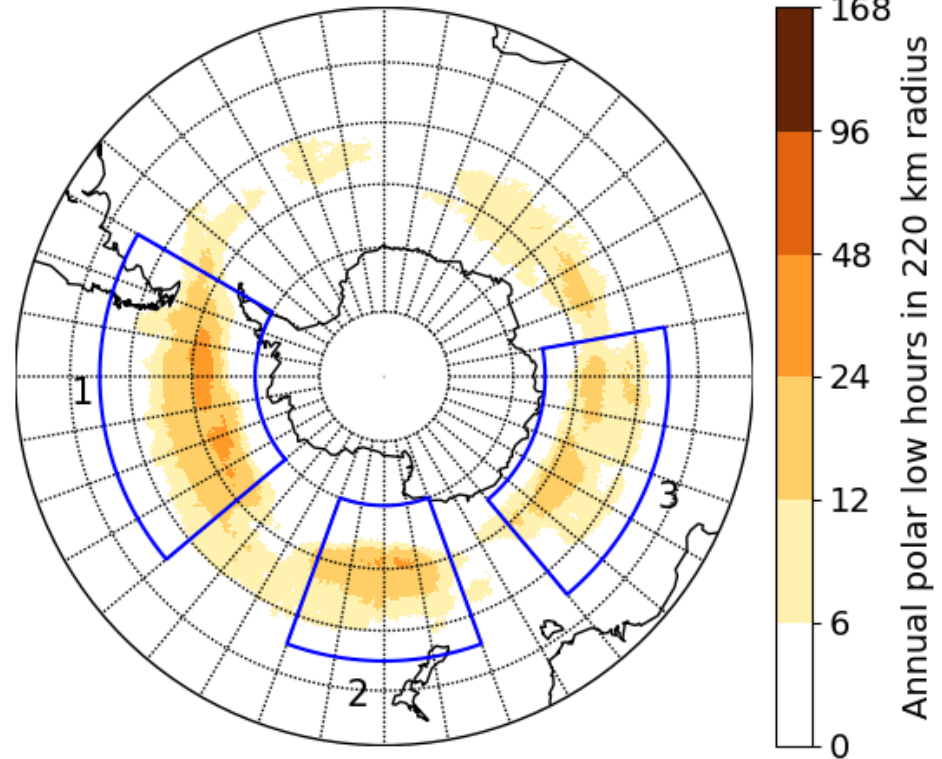
ポーラーロウの発生海域

Stoll et al. (2018)

北半球



南半球

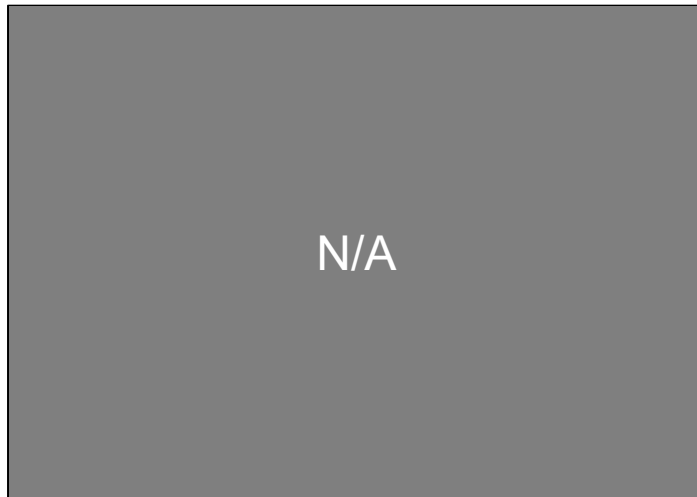


- ✓ 高緯度の多くの海域で形成している。
- ✓ ノルウェーなどでは漁業・海運・油田などの経済活動に影響

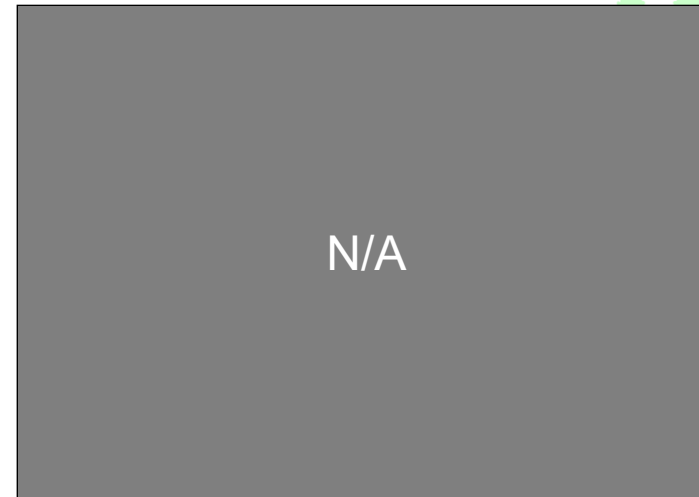
ノルウェーのメディアに登場するポーラーロウ

Thomas Spengler博士提供

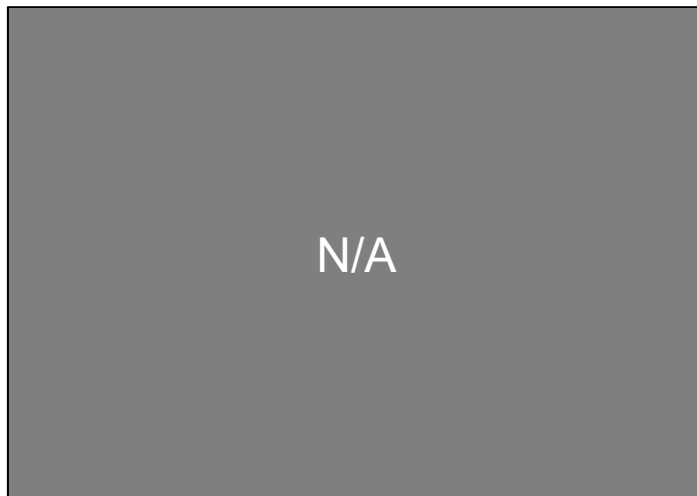
新聞



テレビ



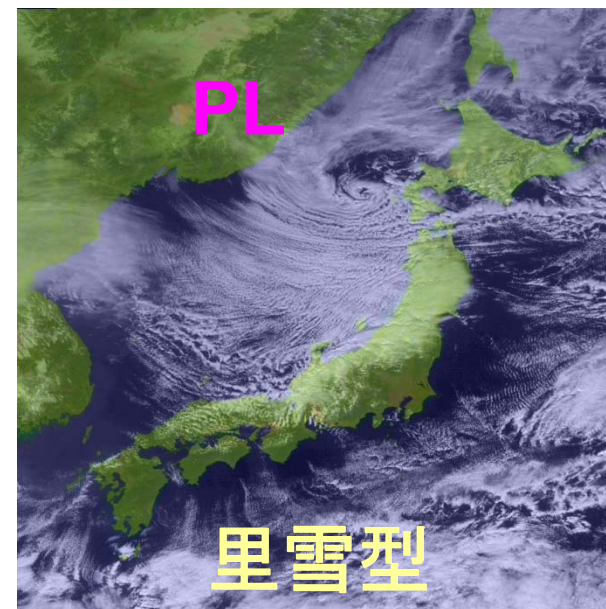
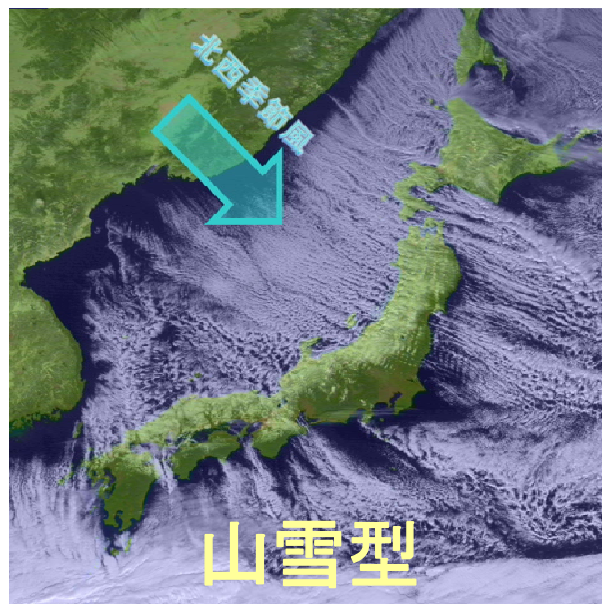
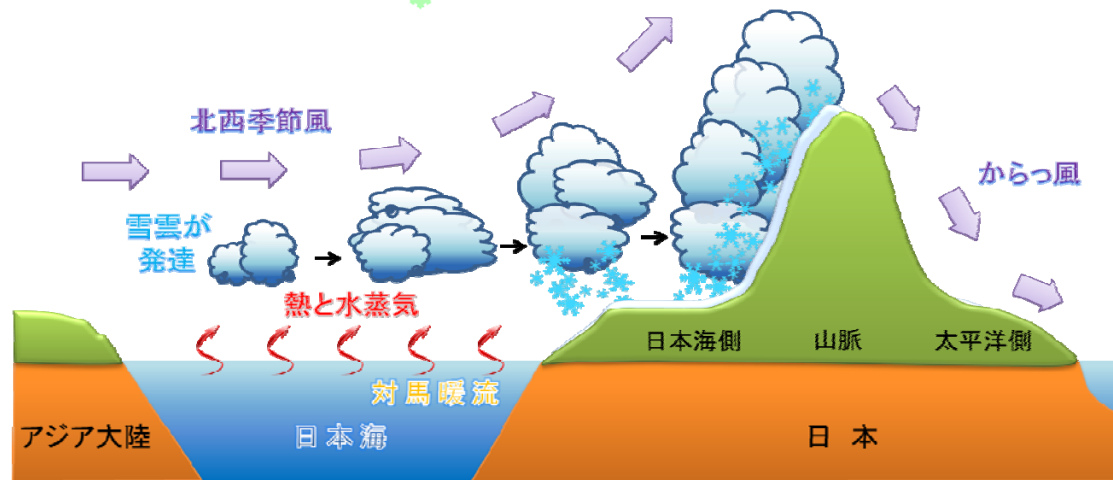
雑誌



webサイト

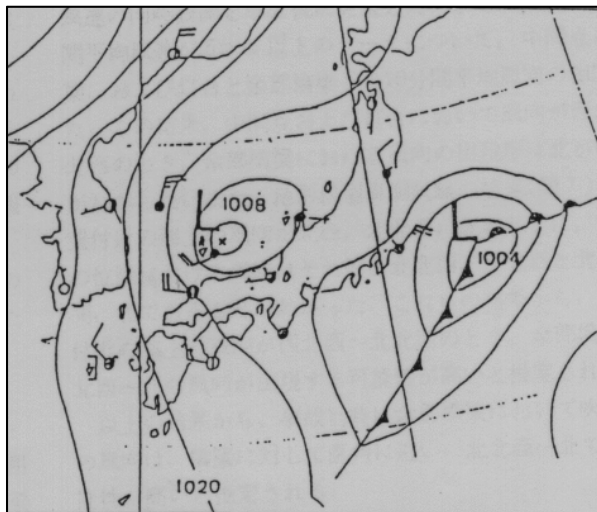


日本海側地域の豪雪



ポーラーロウの社会的影響

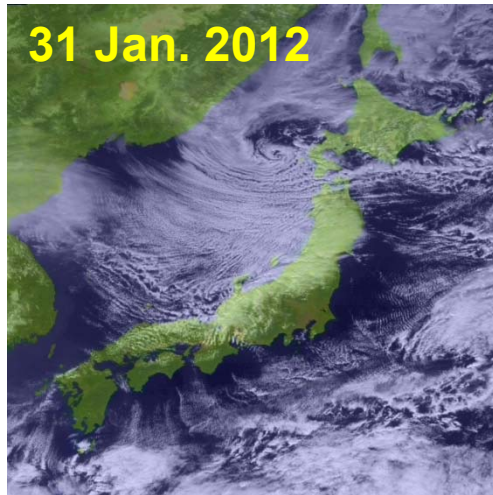
- ✓ 6千トン貨物船の沈没(1981年2月)
- ✓ 強風による列車事故(1986年12月)
- ✓ 日本海側地域の豪雪



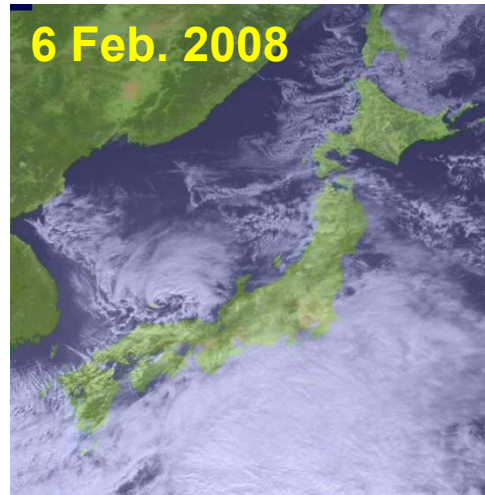
1986年12月28日の天気図(左)と
余部鉄橋の列車転落事故(上)
「事故の鉄道史」(日本経済評論社)

ポーラーロウにおける多様性

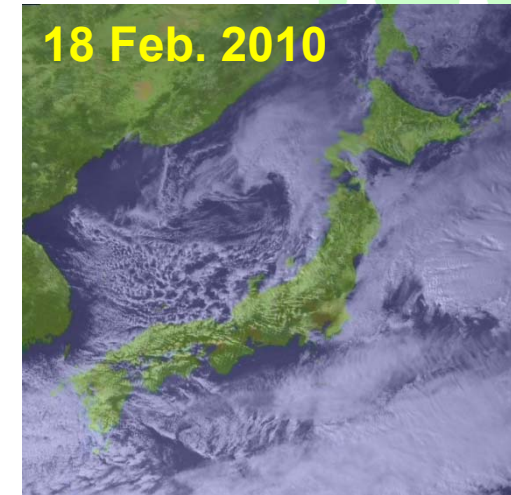
スパイラル型



? 型



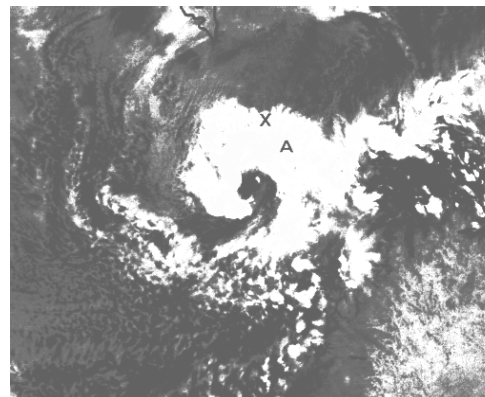
コンマ型



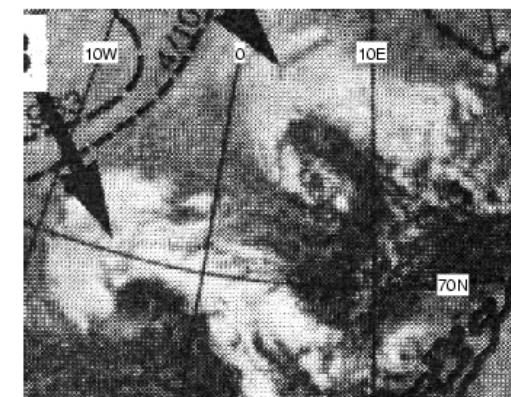
©高知大学気象情報頁



Nordeng & Rasmussen (1992)



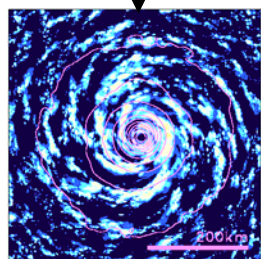
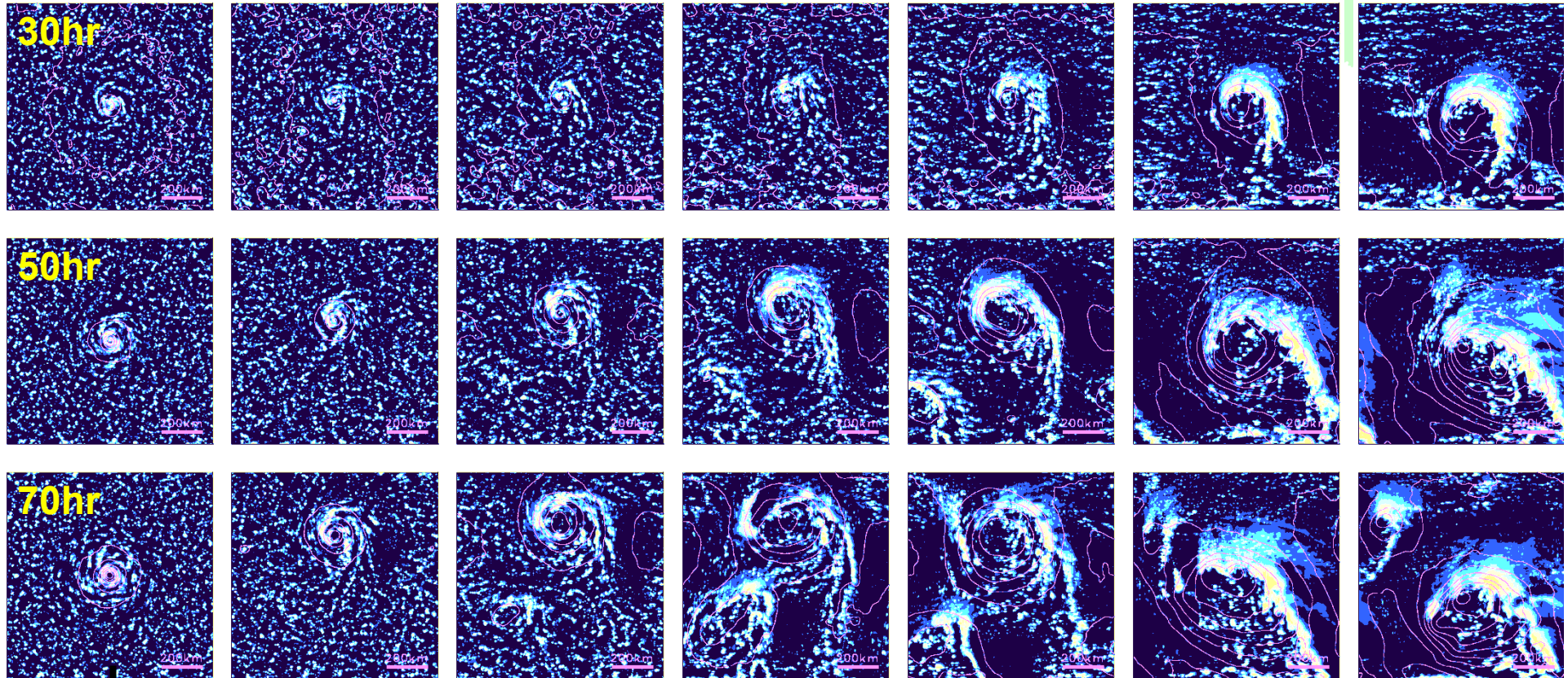
Rasmussen (1985)



Reed & Duncan (1985)

多様なポーラーロウの理想化実験

Yanase and Niino (2007)

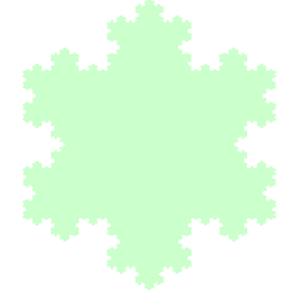
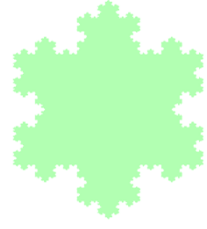
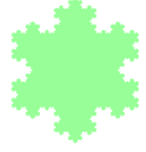


弱

環境場の温度勾配

強

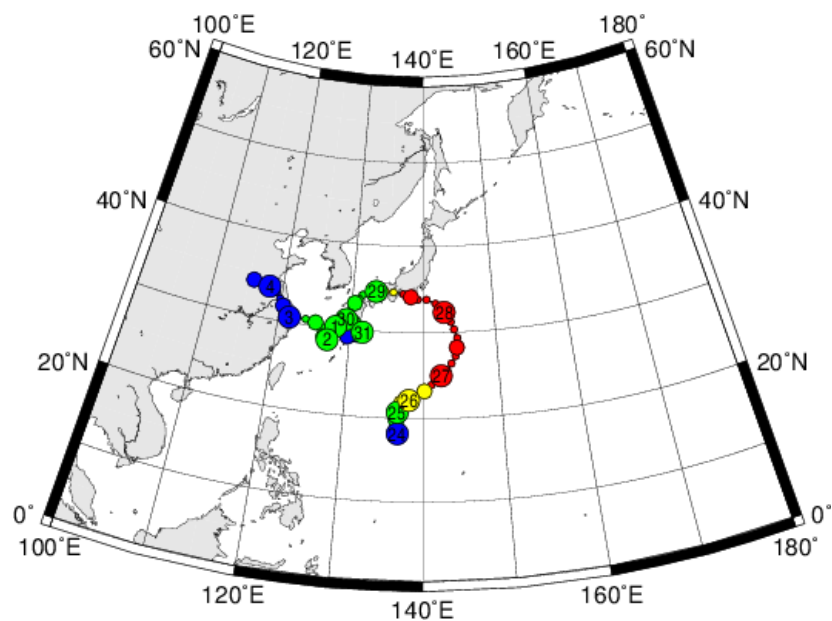
高解像シミュレーションの
中心部付近を拡大



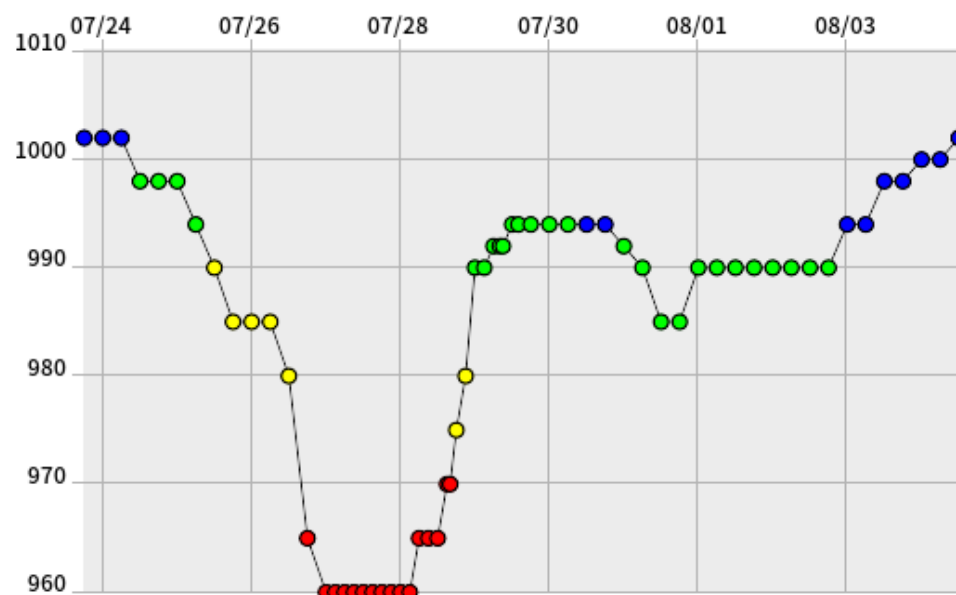
その他の現象

2018年の台風第12号の不思議な動き

経路

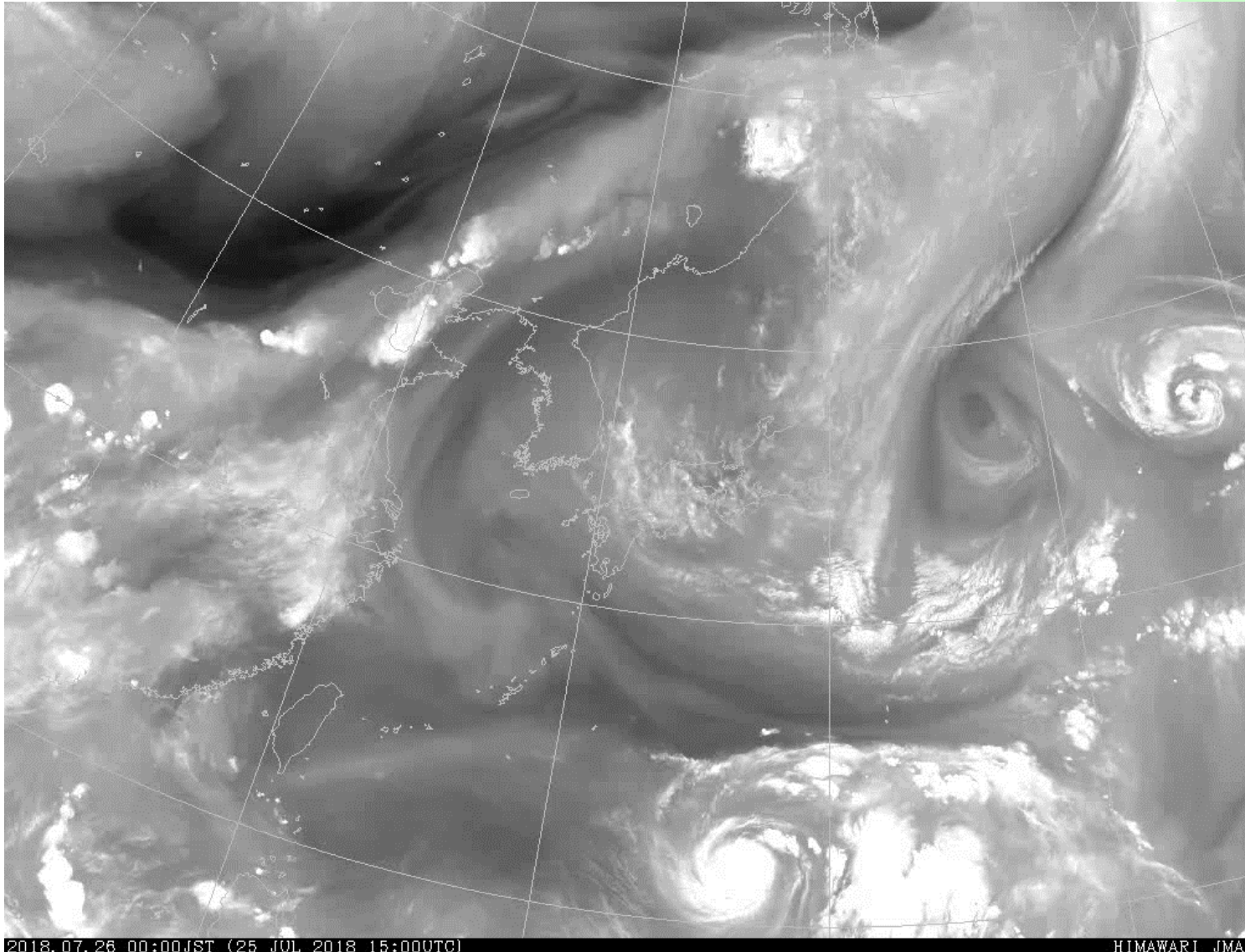


中心気圧



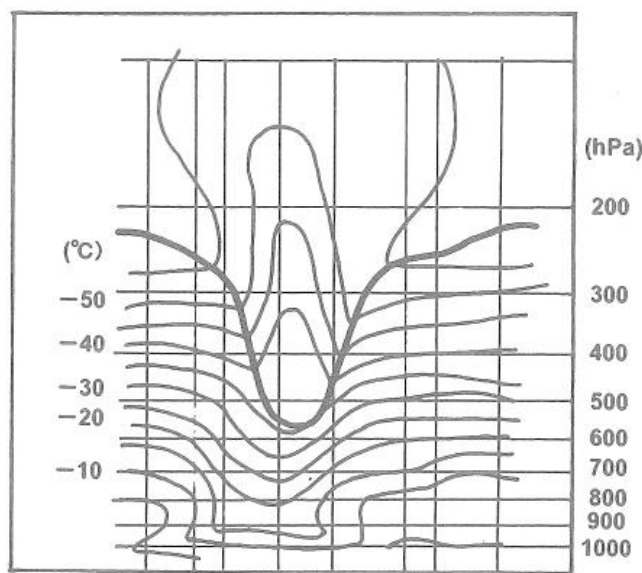
©デジタル台風

ひまわり8号による上層の水蒸気の観測



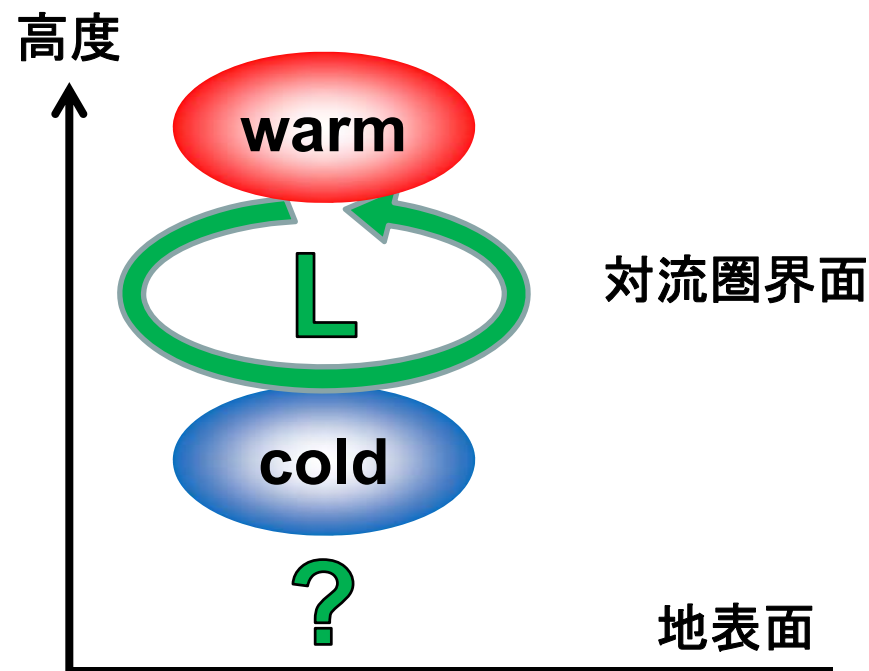
上層の寒冷渦

- 対流圏では寒気、成層圏では暖気を伴う
 - 大気が不安定になる。進行方向の前方に上昇流を伴う
 - ポーラーロウなどの発生・発達に影響する
- ※寒冷渦と寒気内低気圧(ポーラーロウ)は、名前が似ているので注意



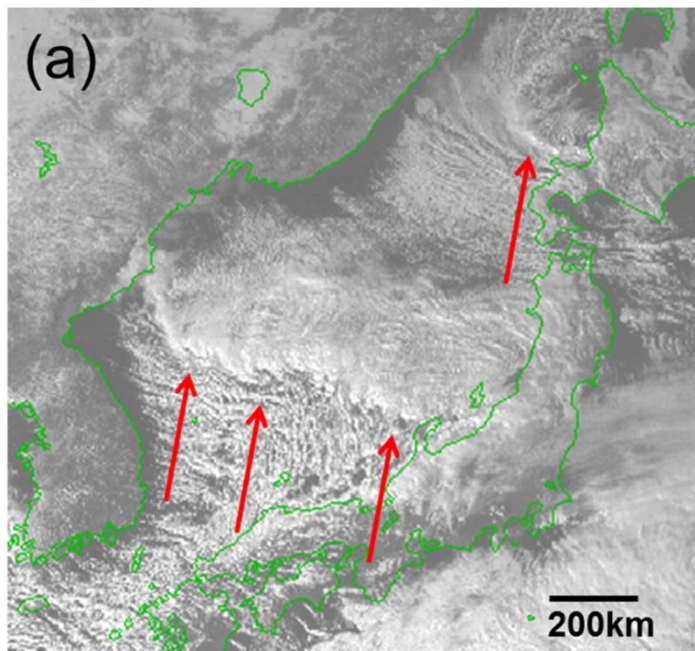
寒冷渦の鉛直構造

「日本付近の低気圧のいろいろ」山岸米次郎著
Palmen and Newton, 1969)



小さなスケールの渦

- 小さな渦では他のプロセスも働く
- 冬季の日本海上の水平風のシアで発達する渦列
- 竜巻では地球の自転の効果は小さい(時計回りもある)



日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)で
発達する渦列 (Watanabe et al. 2016)



2012年5月6日につくばで発生した竜巻
(気象庁のサイト)

小さなスケールの渦



竜巻
(気象庁のサイト)



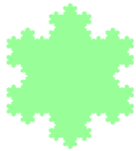
水上竜巻
(Photo by R. GIUDICI; via epod.usra.edu)



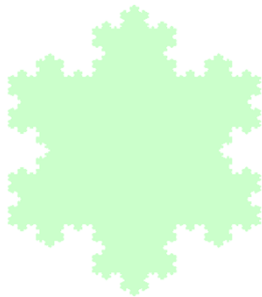
ダストデビル
(伊藤純至さんのサイト)



火災旋風
(wikipedia)



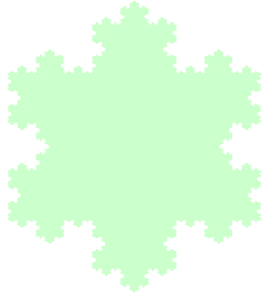
まとめ：多様な低気圧の見方



- 代表的な低気圧のメカニズム(エネルギー源)
 - 熱帯低気圧：暖かい海洋上の積乱雲の凝結熱
 - 温帯低気圧：南北温度勾配からの熱輸送
- 多様性を生み出すもの
 - 熱低と温低の特徴を併せ持つハイブリッド型のプロセス
 - 亜熱帯低気圧、温帯低気圧化、ポーラーロウなど
 - グレーで連続的な現象のために分類が難しい
 - 上層の寒冷渦や地形などの影響
- より小さな渦 → メカニズムも異なる
 - 冬季の日本海上の渦列：水平シアの不安定
 - 竜巻・ダストデビル：地球の自転の影響は小さい



その他の話題



- 2017年台風第21号の航空機観測の動画
- 鉛直シアによる熱帯低気圧の発達抑制
- 低気圧に関するwebサイト紹介