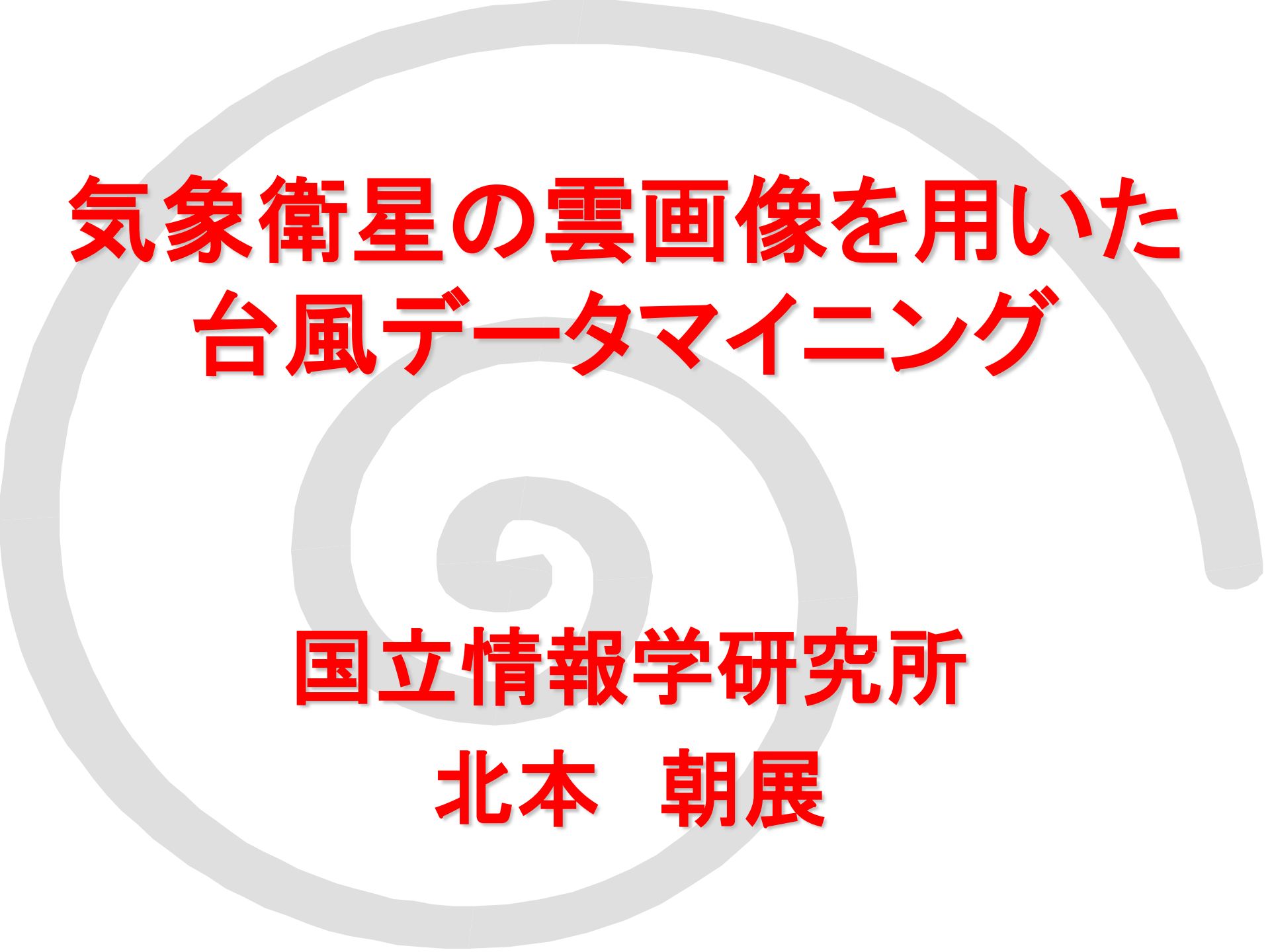




気象衛星の雲画像を用いた 台風データマイニング

国立情報学研究所

北本 朝展

本発表の概要

1. はじめに
2. 台風画像コレクションの構築
3. 台風解析とデータマイニング
4. 台風予測
5. 気象学への貢献に向けて
6. おわりに

研究の背景

- ・ 私のこれまでの研究は、画像解析やパターン認識を中心とした情報学の領域に集中している。
- ・ そのような手法の具体的な応用分野として、気象学に興味をもっている。
- ・ 小学生の頃は天気予報番組を好んで見ていたこともあった！？

研究の背景

「おもちゃ問題」ではない大規模な実問題への適用が重要

台風画像の大規模コレクションを構築しテストベッドとして活用

台風画像データベース、台風データマイニング、台風解析支援、台風予報、台風予兆発見などを目標とする

データサイエンス

- ・ データの流れの上流から下流までを一貫して科学する。
- ・ データの抽出や加工を通して、データの背後に潜む現象の本質を抜き出す。

1. コンピュータ資源の劇的な性能向上
2. インターネットによる情報流通
3. センサの種類増加・性能の向上

台風の形態学

渦巻き型の雲の形態は気象現象の中で最もドラマチックなものの一つ

パターン認識やコンピュータビジョン等の情報学的手法を用いて解析

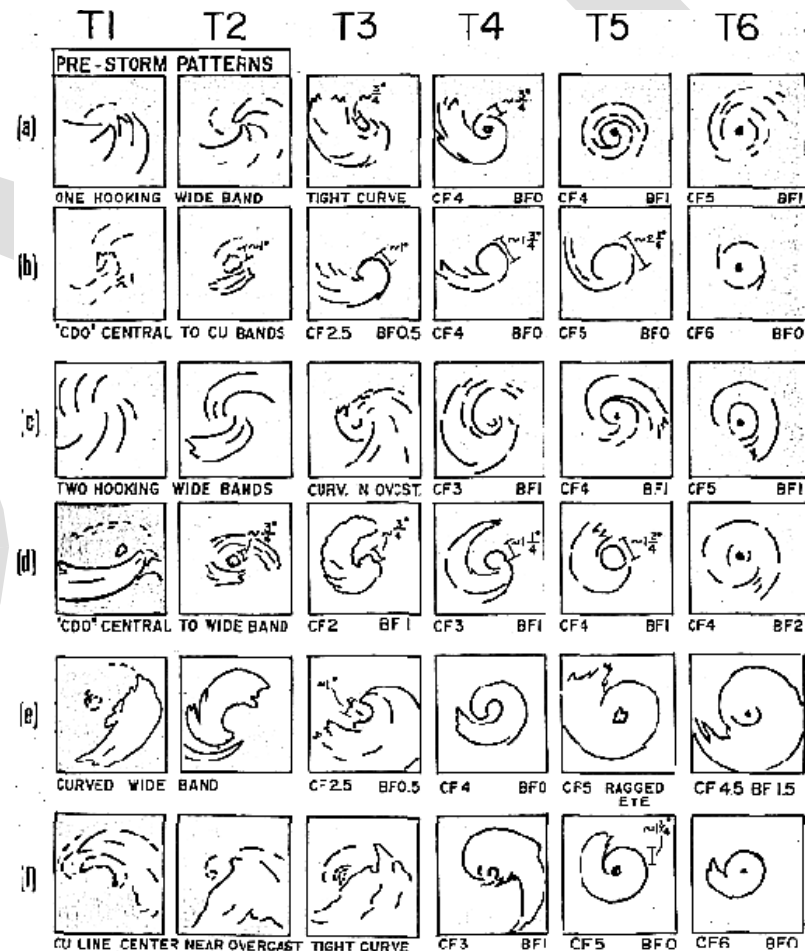
気象学者に負けないような（！）気象解析・気象予報は可能だろうか？

台風という気象現象

- ◆最大風速 17.2m/s 以上の熱帯低気圧を台風と定義する(気象庁)
- ◆台風雲パターンの最大の特徴は、「眼の壁雲」と「らせん状のレインバンド」である
- ◆雲パターンは短期間のうちに爆発的に変化することがある

気象学的手法ードボラック法

- 衛星画像の雲パターンから熱帯低気圧の強度を推定する
- 世界中の気象機関で利用されている
- 熟練者のパターン認識と過去の経験則の集積に基づく



情報学パラダイム(1)

気象学関係者(?)

1. 数値シミュレーションによる実験
2. 個別事例の詳細なケーススタディ

情報学関係者(の一部?)

1. 不完全なモデルを機械が学習
2. 大量事例の蓄積から法則を発見

情報学パラダイム(2)

- ・ 気象学のモデル・理論はかなりよくわかっている = Navier-Stokes方程式等の動力学、熱力学、などなど。
- ・ あとはシミュレーションするだけ？

シミュレーションでは起こりうる大気の状態はいくらでも計算できるが、「現在の」大気を正確に再現するためには別種の技術が必要なのではないか。

情報学パラダイム(3)

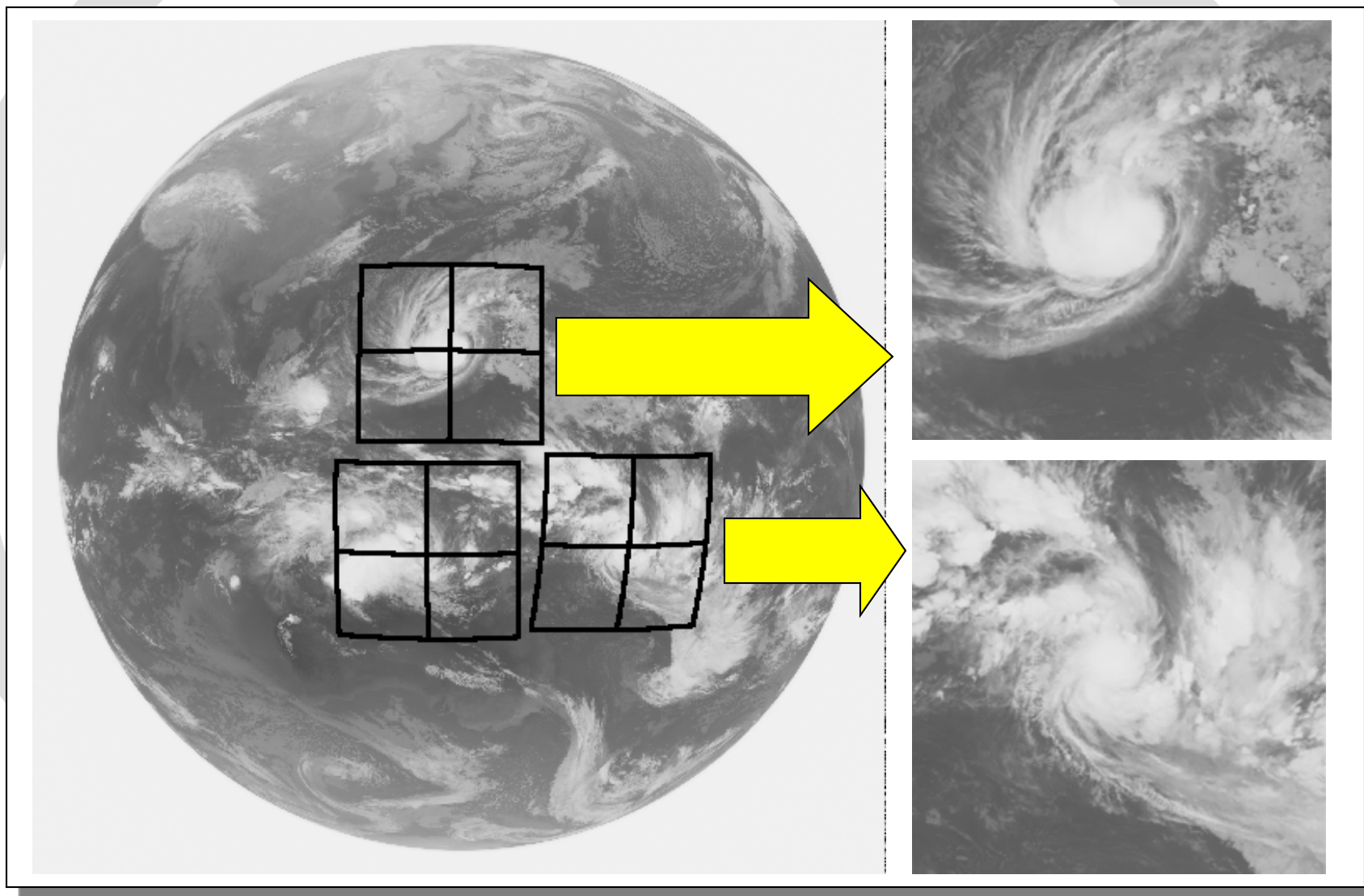
- ・ 流体力学に基づく動き解析(Zhou)
- ・ Dynamic Link Architecture + Active Contours (Zhou)
- ・ 台風データマイニング(Lee)
- ・ ファジー理論による台風予測(Hiraoka)

- ・ いずれも情報学的手法の一応用例
- ・ 気象学的にはインパクトは無に近い？
- ・ 気象学と情報学の融合により、実際にインパクトを与える研究を目標とする

台風画像コレクションの概観

	北半球	南半球
ベストトラック		
観測機関	気象庁	Australia気象局
緯度範囲	赤道以北	赤道以南
経度範囲(東経)	100～180	90～170
台風画像コレクション		
台風シーズン数	6シーズン	5シーズン
台風系列数	136系列	62系列
総台風画像数	24800画像	9400画像
系列当り画像数	53～433	25～480

「ひまわり」からの台風画像生成



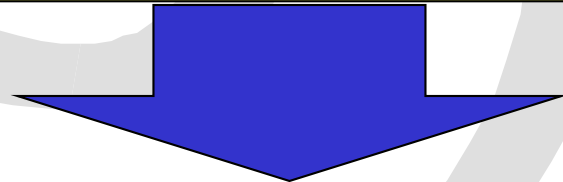
台風中心の位置合わせ

オイラー的表現

地球に対する固定的な座標から眺める
(例えばテレビの天気予報の雲画像)

ラグランジュ的表現

台風中心と共に動く座標系から眺める



台風中心位置の推定＝ベストトラックで代用

ベストトラック

- ✓ 台風経路の最終解析結果。
- ✓ 3～6時間ごとの台風の中心位置、中心気圧等が記録される。
- ✓ 気象の専門家による十分な検討を経た「正解データ」、あるいは近似的な「グラントルース」とみなせる。
- ✓ 日本の気象庁およびオーストラリア気象局のデータを活用

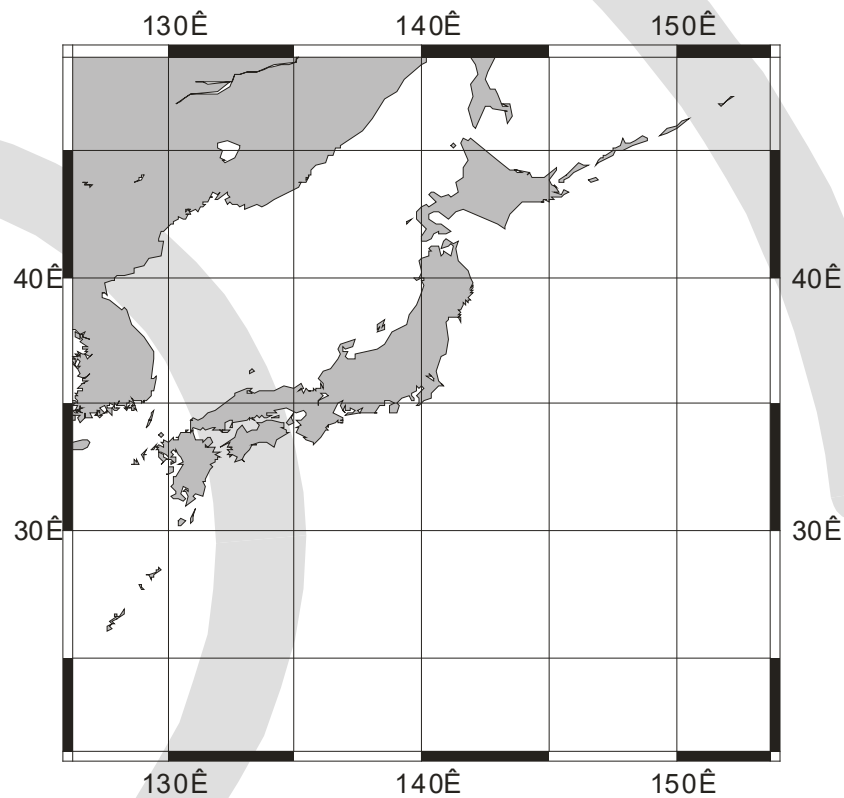
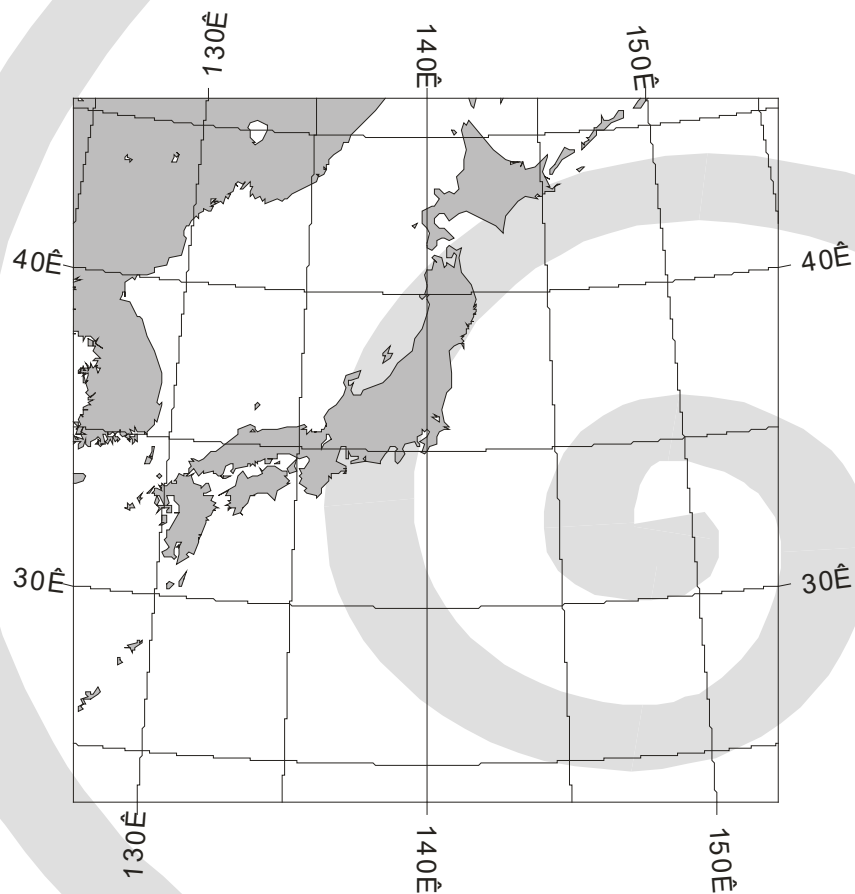
地図投影法(1)

ランベルト天頂等積図法

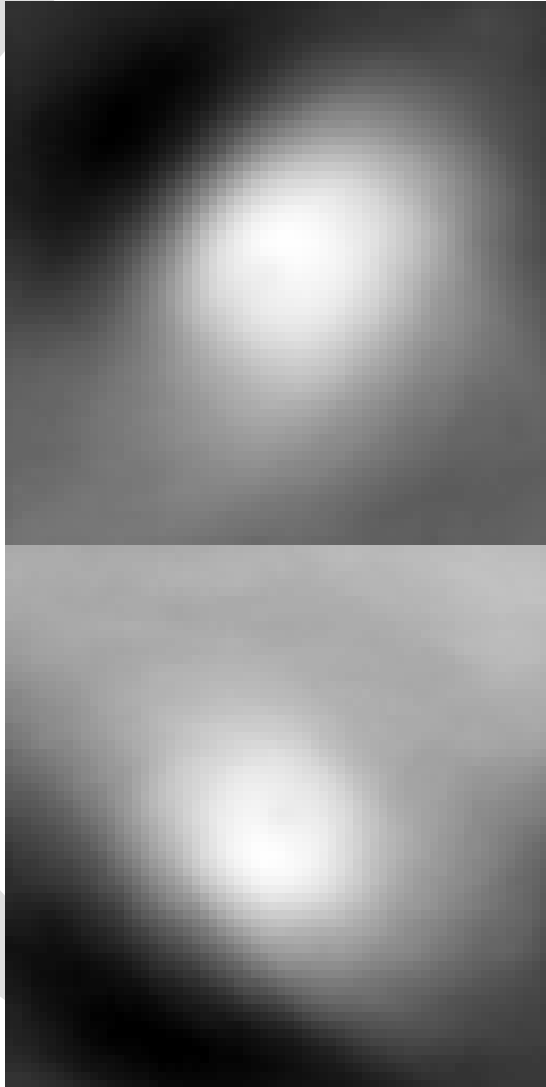
Lambert azimuthal equal-area projection

1. 台風の地理的な移動に関わらず台風の見かけの大きさは変化しない
2. 歪みが投影画像中心からの半径にしたがって増加するため、台風のような円形に近い物体では歪みが小さい

地図投影法(2)

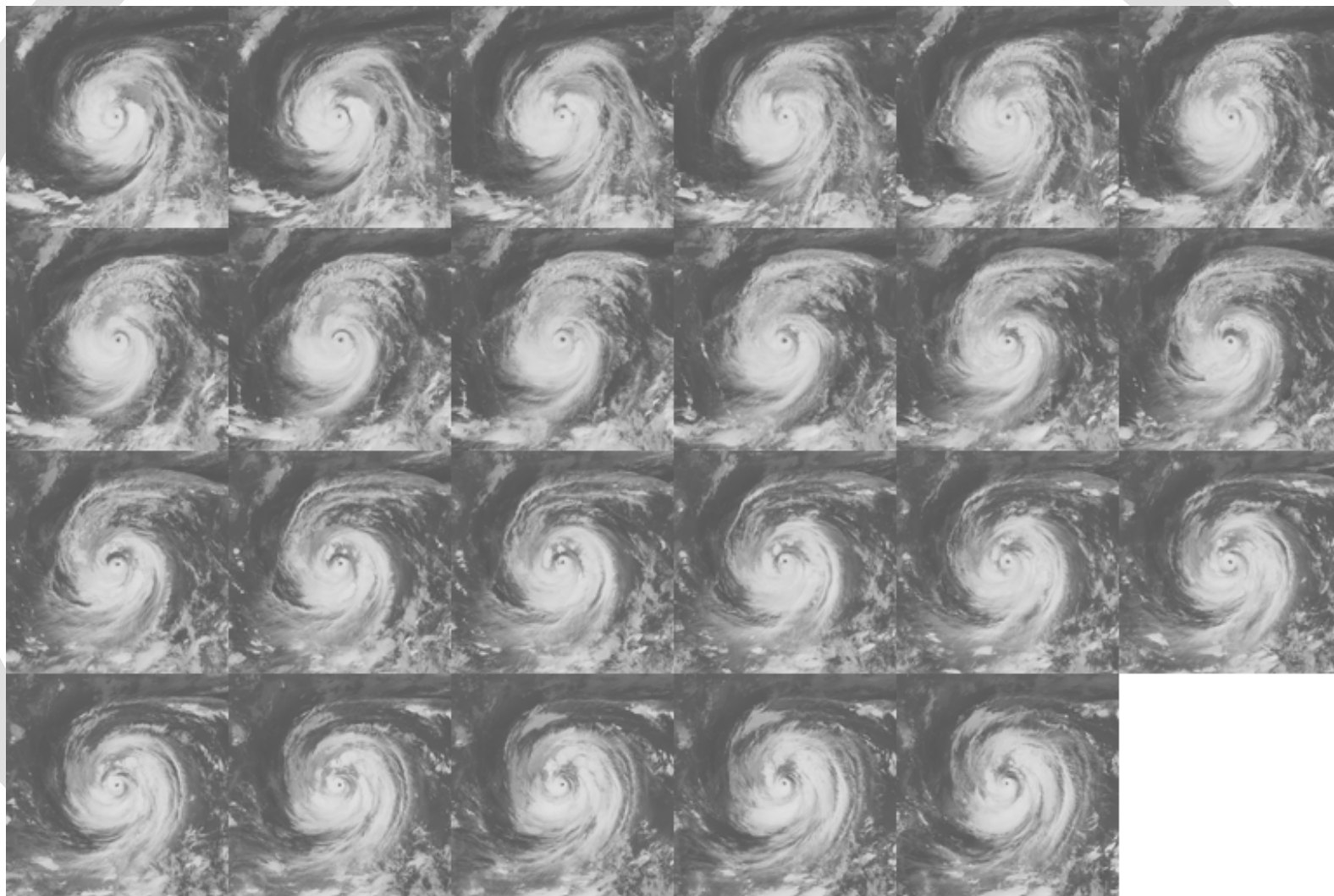


Well-Framedな台風画像生成

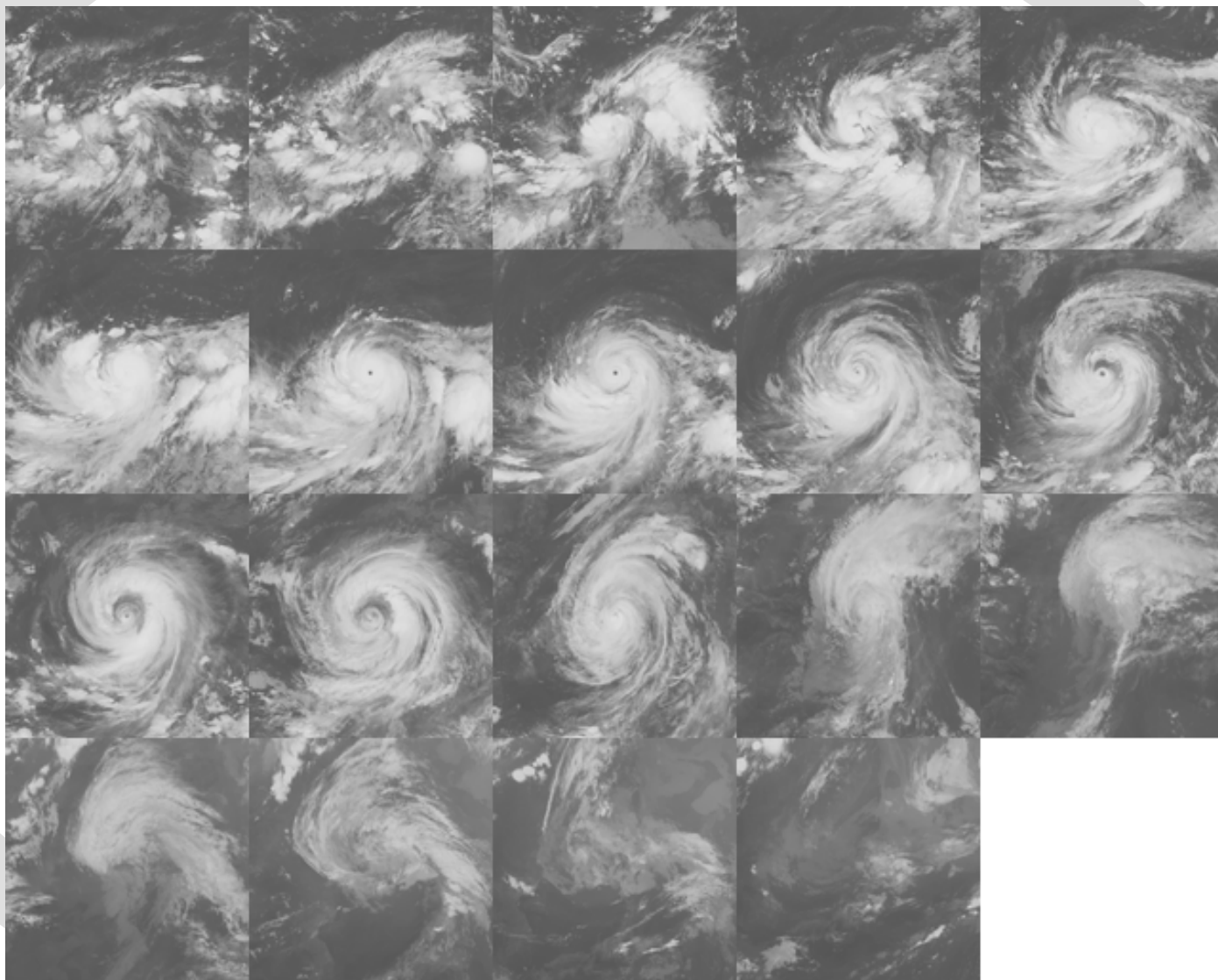


- ・ 台風画像中心が常に台風中心と一致
- ・ 雲システム全体の移動に関係なく、台風雲パターンの変化のみを注視
- ・ 北半球と南半球の平均台風画像は、南北反転となる

台風9713号のある1日



台風9713号の一生



台風9713号の一生

衛星画像の雲分類

GMS-5の赤外3チャンネルを組み合わせた 雲画素の抽出・分類処理

1. 赤外画像を輝度温度に変換しチャンネル間の差分も計算
2. 赤外の波長帯における水蒸気の吸収率の差を利用して雲領域を分離
3. 海面地上温度をロバスト推定し、雲の輝度温度を高度に換算、雲の識別をおこなう

雲分類画像



3つの主要課題

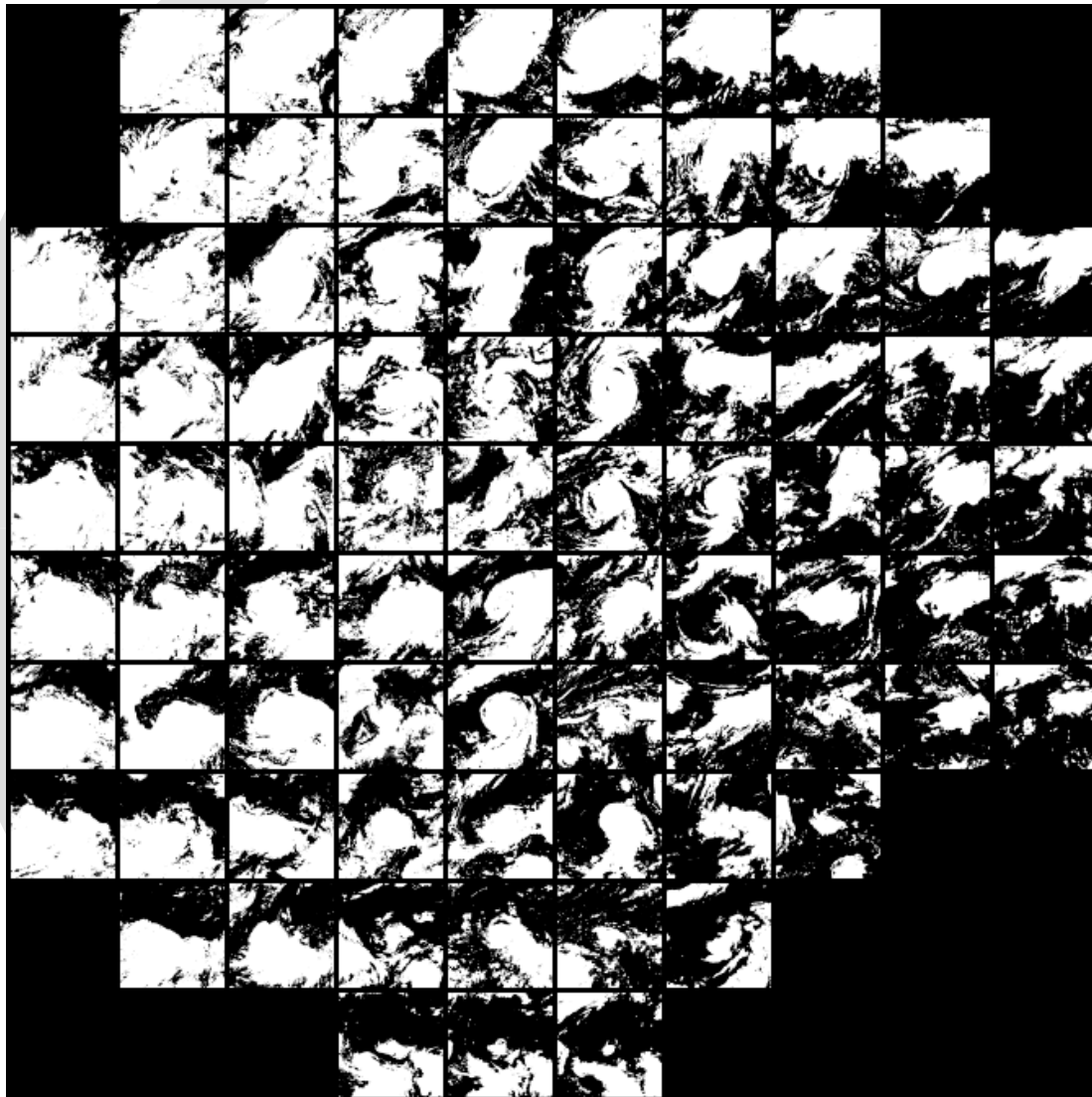
1. 台風の雲パターンを表現するための基礎となる計算モデル。
2. 台風の雲パターンとして典型的なものを計算する数学的手法。
3. 台風の雲パターンの種々の特徴を抽出するための数学的手法。

台風雲パターンの表現基底

- I. 64x64の(縮小)雲量台風画像を生成し、相関係数行列を計算
- II. 主成分分析で得られる固有値の大きい順に固有ベクトル=>固有画像
- III. 多重解像度解析の適用

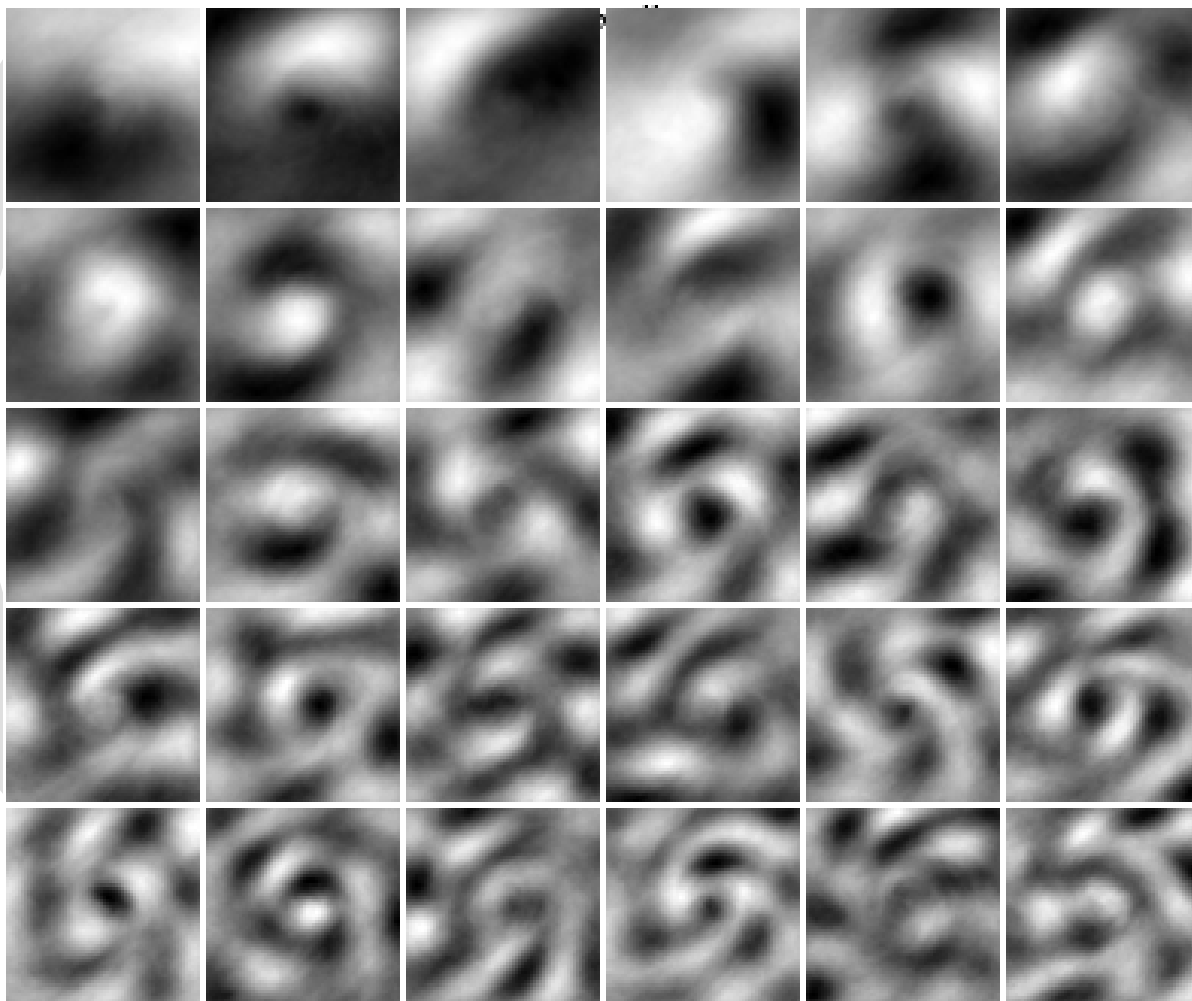
台風中心雲に対応する**楕円形**と、中心から伸びるバンド構造に対応する**らせん形**が、台風雲パターンの主要形状

主成分分析(PCA)



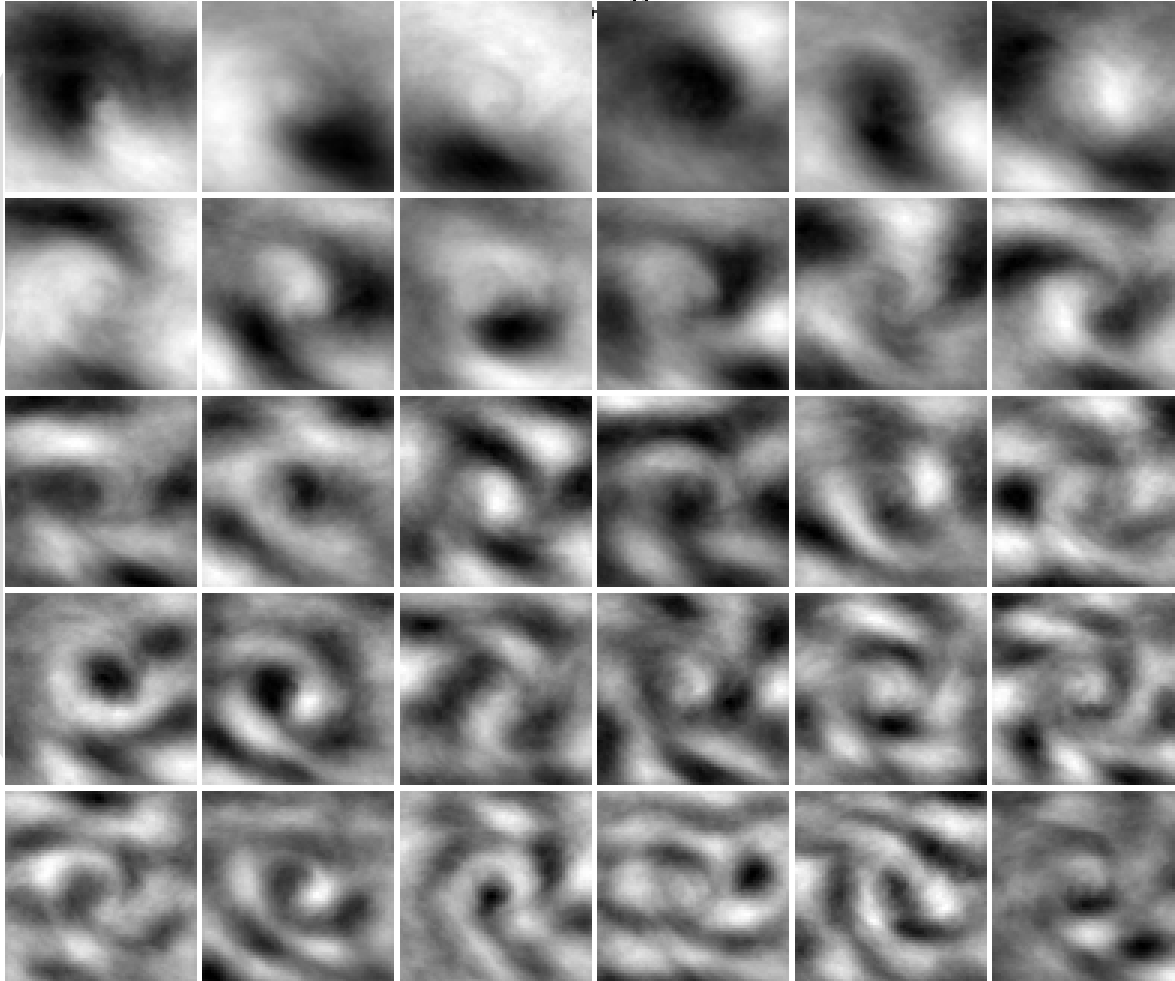
- 分散が最大となる方向を見出すための数学的手法
- 2つの主要な主成分軸で張られる平面上での雲パターンの分布
- 南北方向の雲量傾度が現れている。

北半球の固有台風画像



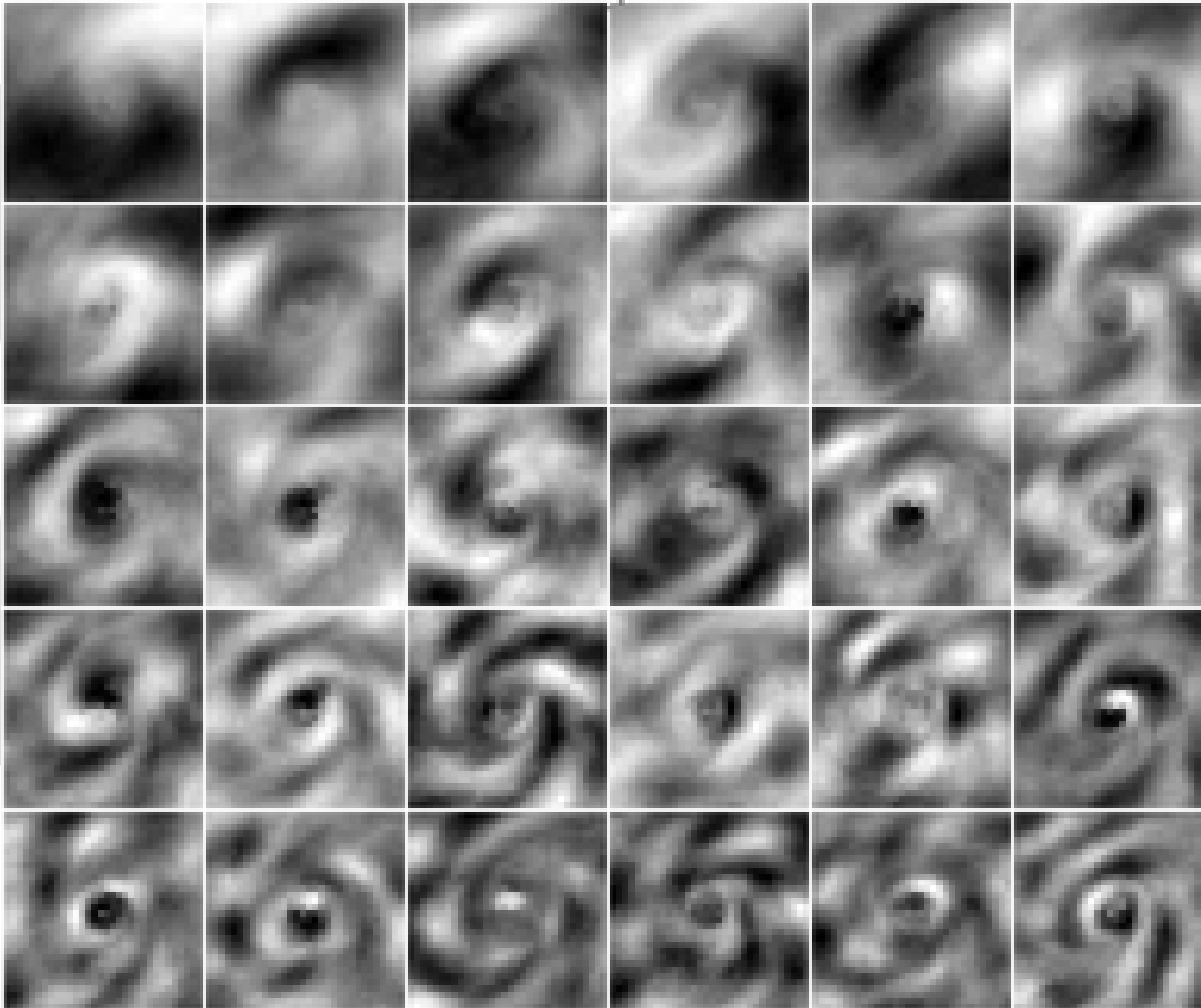
- ・ 第1～第3
主成分は、南北方向の雲量傾度を表現
- ・ 第4～第8
主成分は台風中心付近の雲塊を表現
- ・ 第8主成分以降は曲率をもつバンド構造を表現

南半球の固有台風画像



- 北半球の場合と同様の傾向
- バンド構造が巻き込む向きは北半球とは逆
- 両者は本質的に同一の気象現象

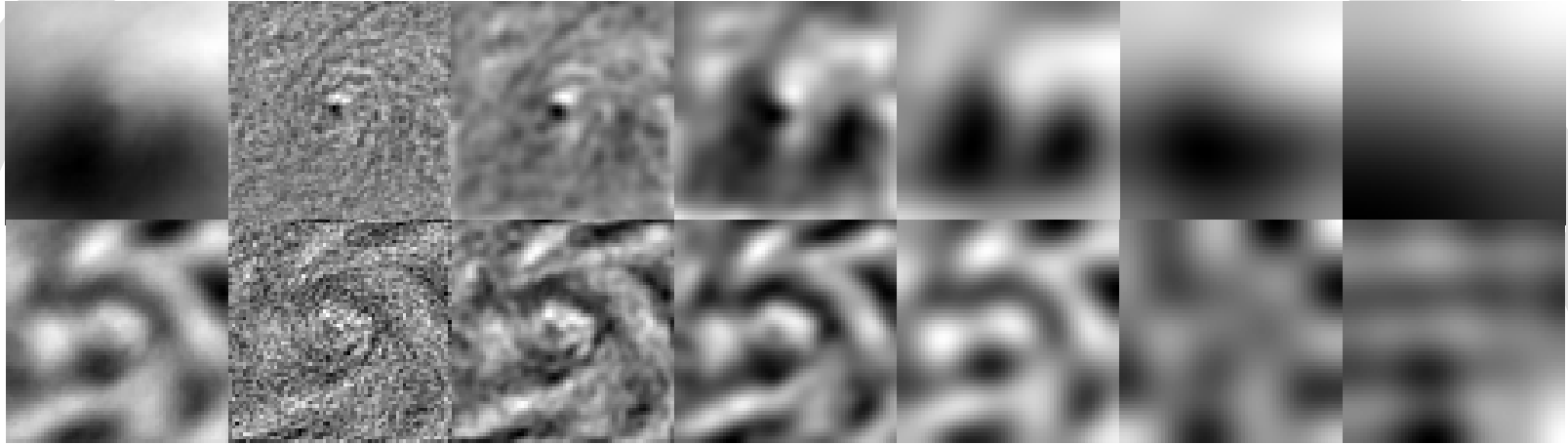
強い台風に対する固有台風画像



- 眼付近の微細構造がより明瞭
- バンド構造の曲率がより大きい
- 南北方向の雲量傾度が大きいのは同じ

動画

固有台風画像の多重解像度解析

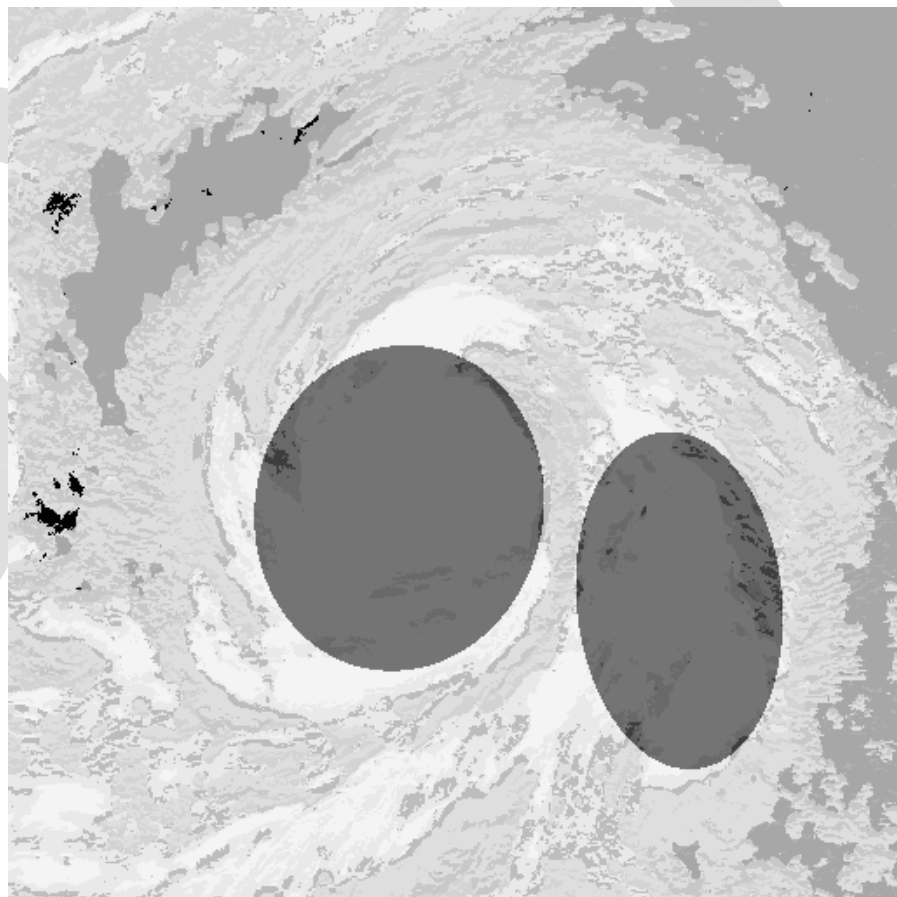


- ・ 気象現象においてはスケールが重要
- ・ Wavelet変換の一種A Trous変換を活用した固有画像の多重解像度解析
- ・ 上段は1000km以上のスケール、下段は～300kmスケールの現象

台風によりシンボリックな表現

台風の基本的形状
の一つは楕円

楕円を基本構成要素とし、台風雲パターンを楕円の集合体として表現

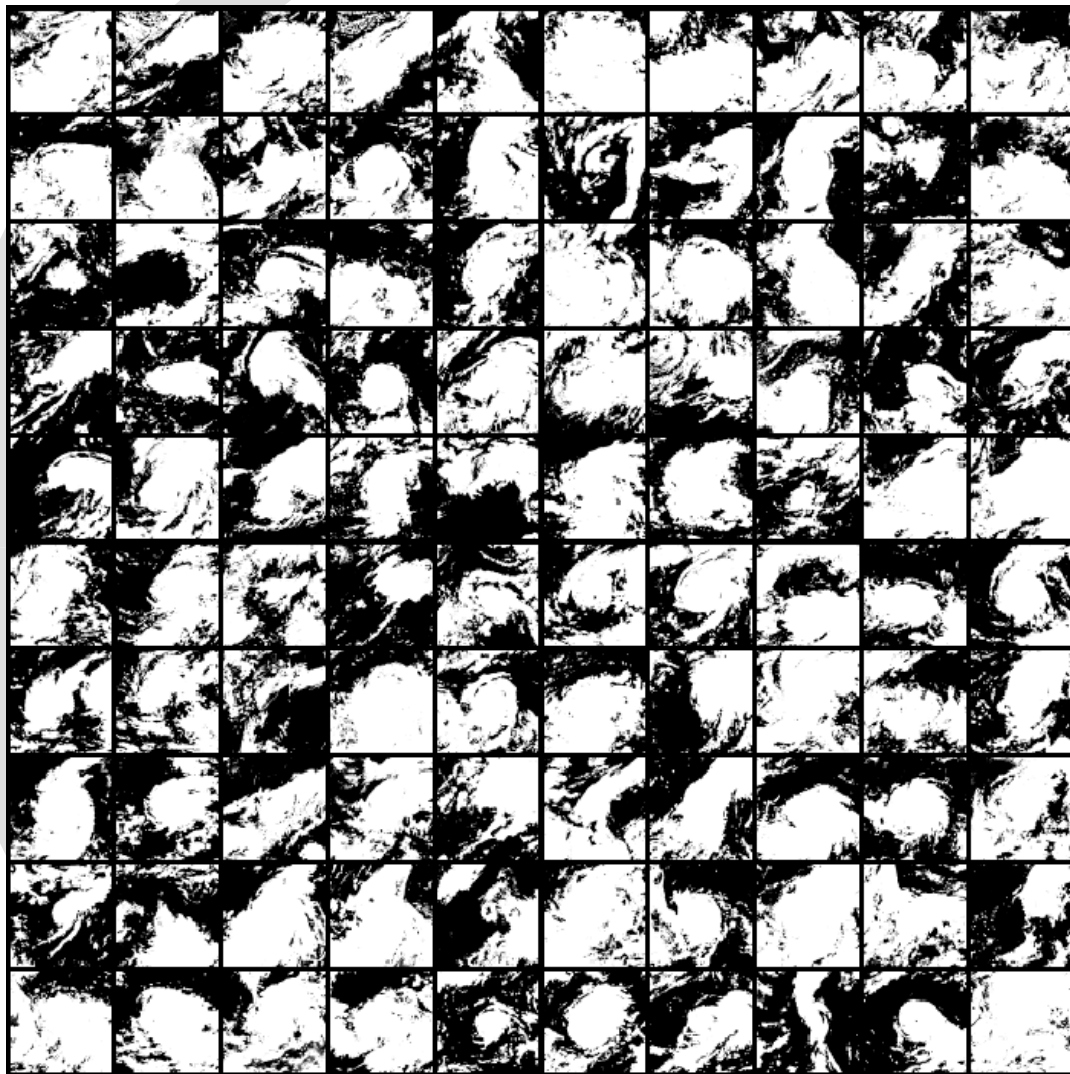


動画

台風の典型的パターン

- ・ ドボラック法は「台風の典型的パターン」という考え方に基づく手法である。
- ・ 台風の雲パターンの確率密度関数が特徴空間上で一様分布でなければ、典型的なパターンが存在しうる。
- ・ 特徴空間上のクラスタリング手法

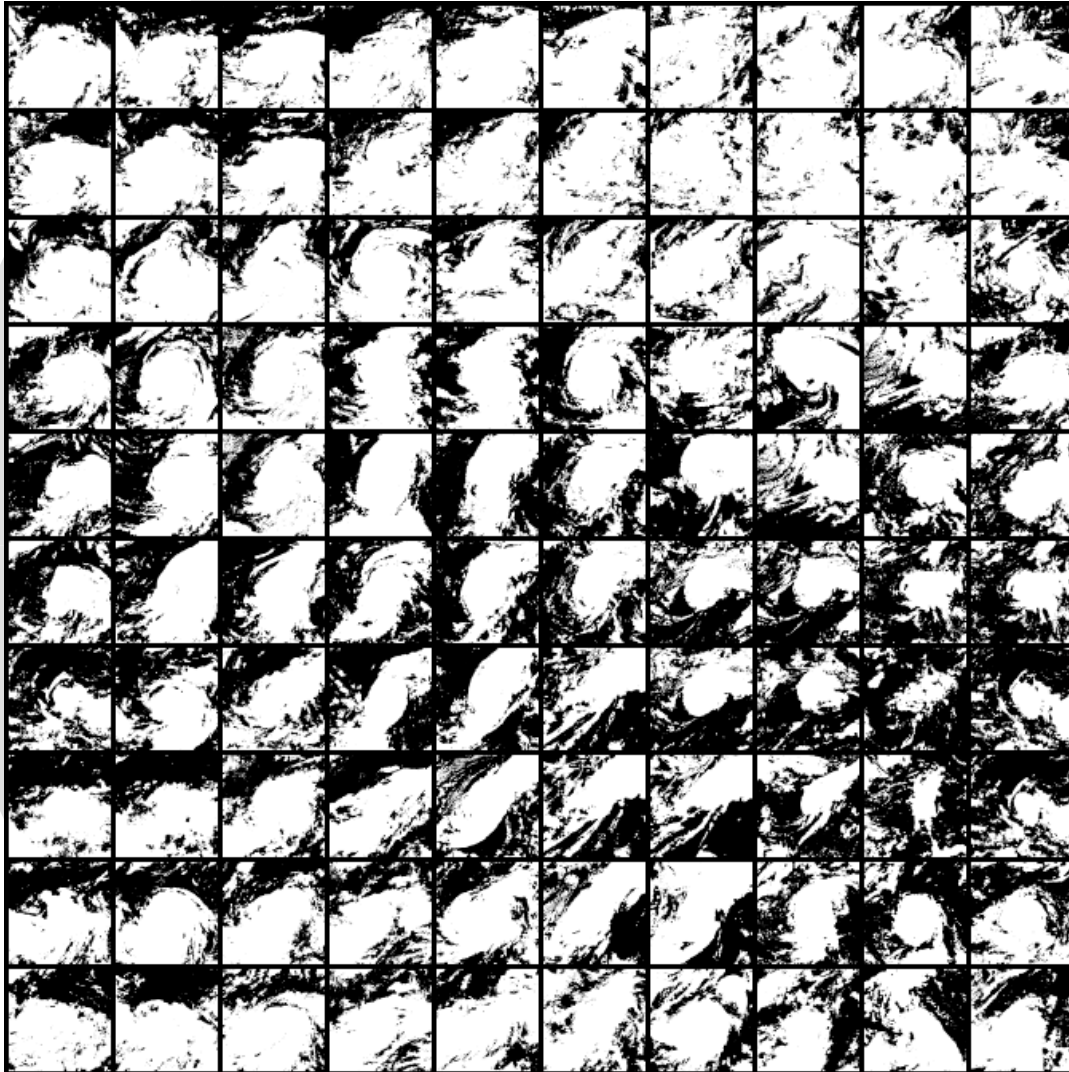
クラスタリング手法



•K平均法はクラスタリングのための簡便な手法である。

•得られたクラスタを眺めてみても、雲パターンの潜在的な構造に関する直観的な理解は得られない。

自己組織化マップ

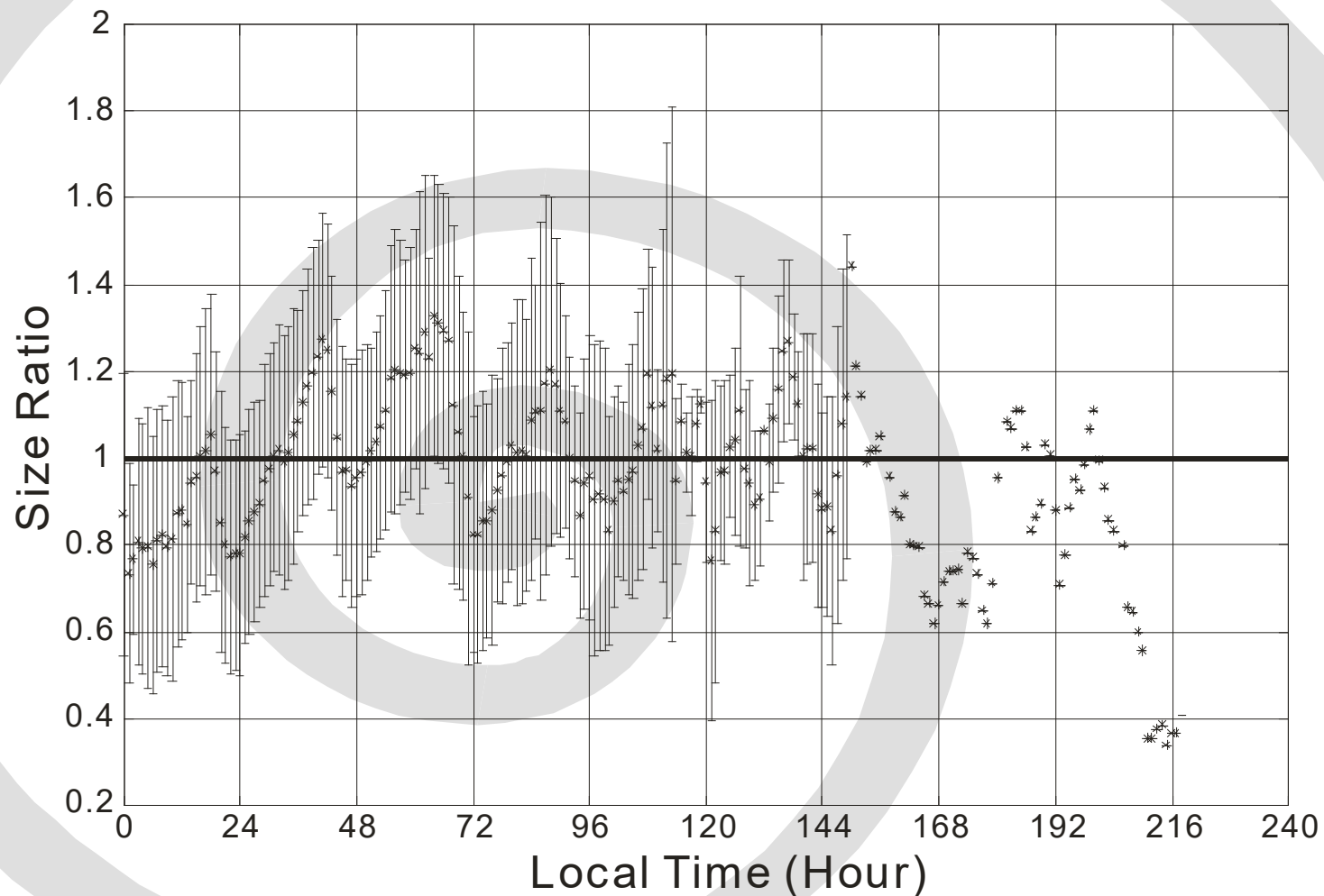


- 同じく多次元空間のクラスタリング手法であるが、クラスタ間に位相構造が定義されている点の特徴である。
- 参照ベクトルに最も近い画像を2次元平面上に配置する。

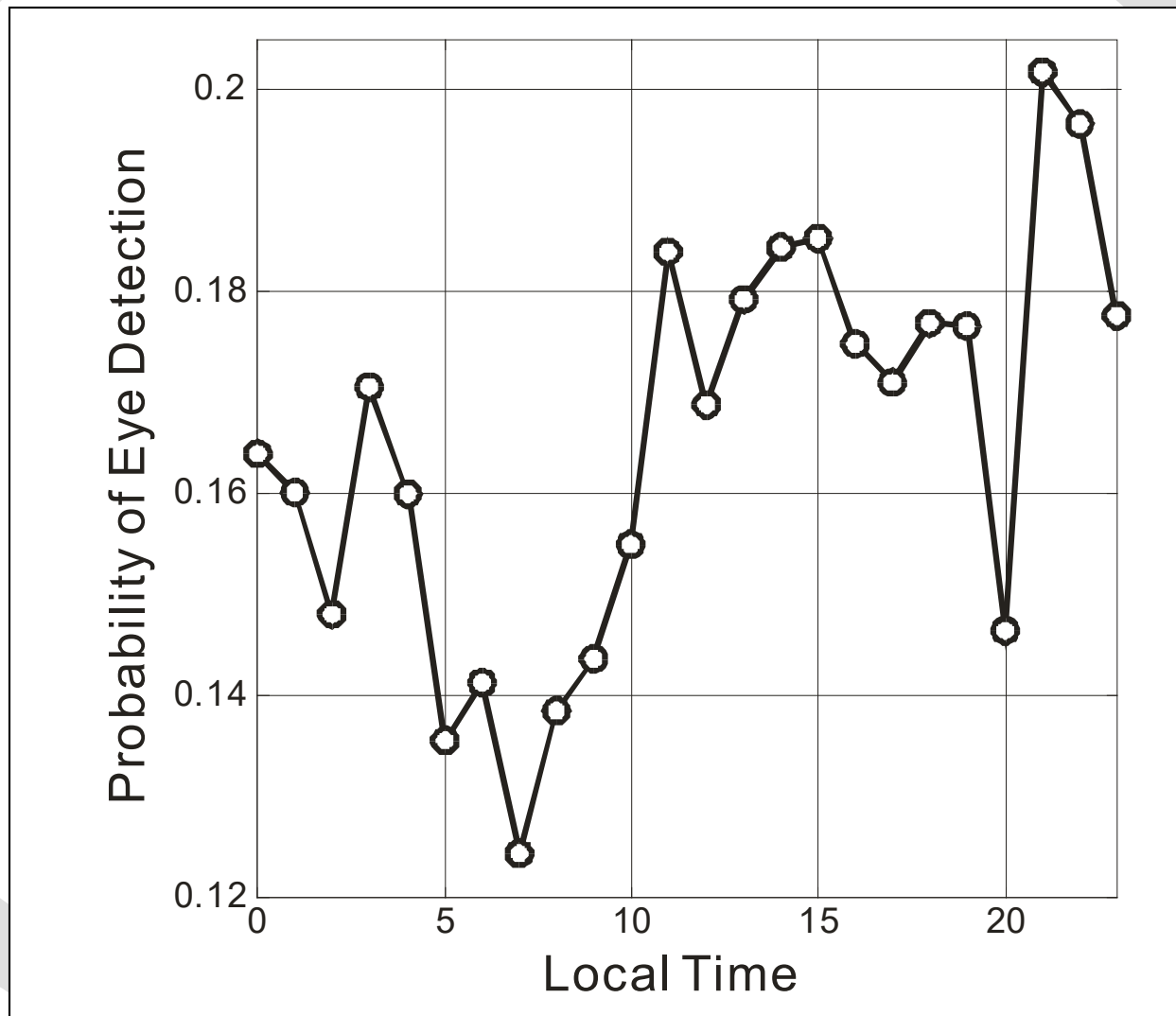
台風の特徴抽出のための手法

- ・ 台風という2次元(あるいは3次元)のナマの構造から、何らかの目的に便利な形に変換・縮約して表現する。
- ・ 空間方向だけでなく、時間方向の変化も本質的に重要。
- ・ 現在のところ、これまで知られていた性質を追試したにとどまっている。

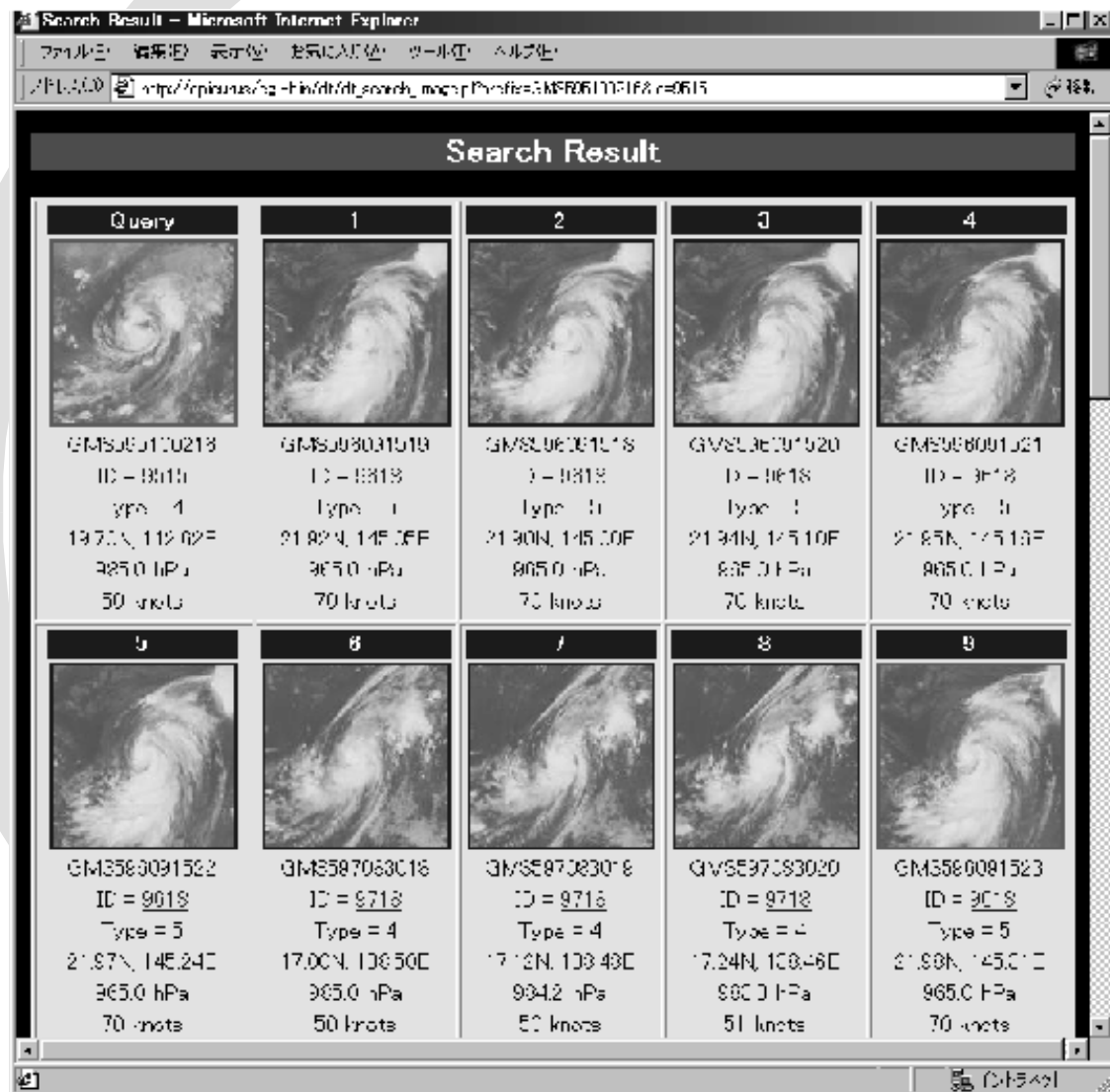
台風の日変化の解析(1)



台風日変化の解析(2)



固有台風による類似画像検索

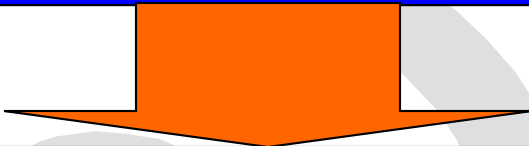


- 固有空間の次元数は86（累積寄与率80%）
- ロバスト性に優れる＝奇妙な検索結果は比較的少ない
- 台風眼などの微細構造を検索対象とするのはほぼ不可能

類似画像検索に基づく予測

課題

ある台風画像を検索キーとして提示し、台風データベースから類似画像を検索



1. 検索キーと類似した台風パラメータをもつ台風画像は検索できるか？

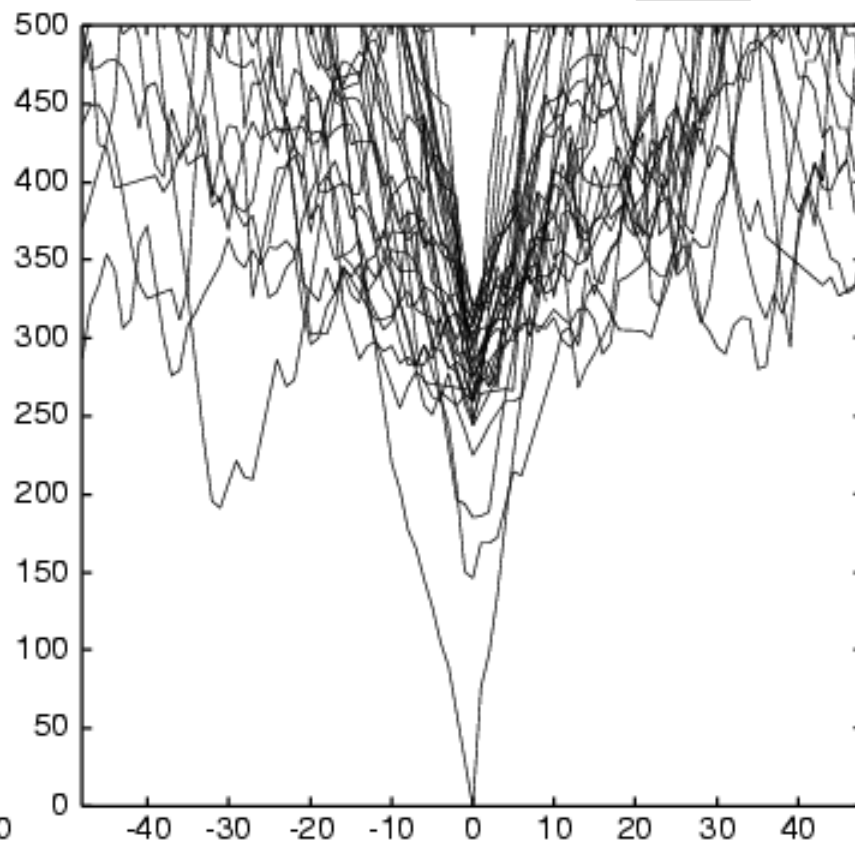
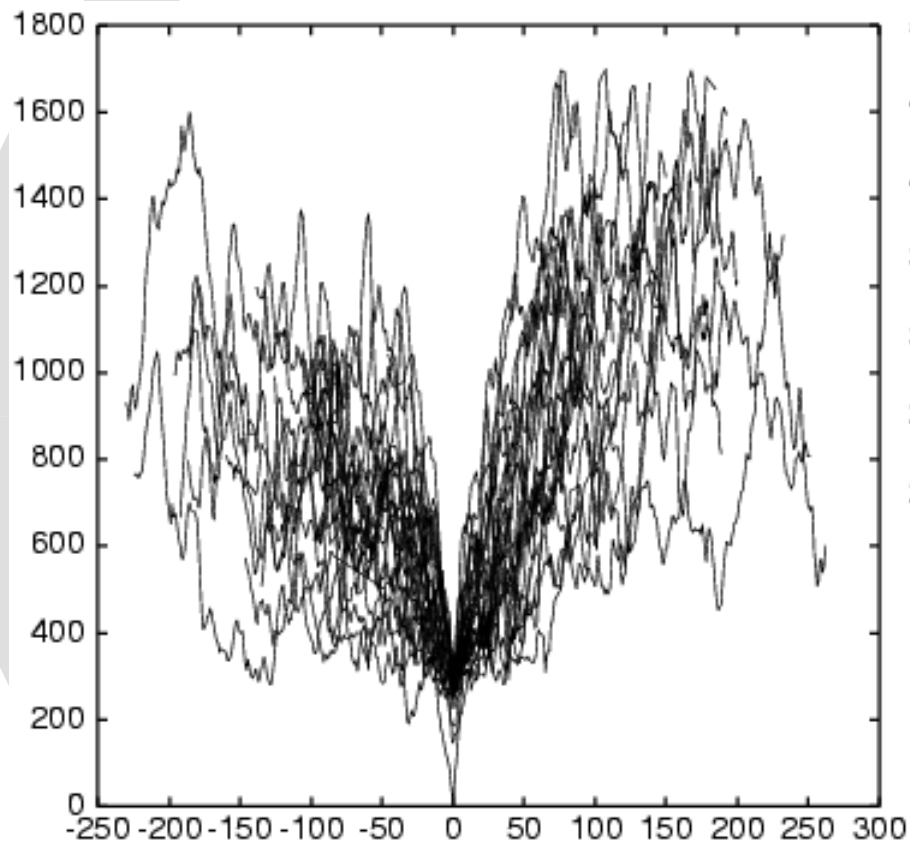
2. 類似検索画像を用いた台風予測は可能だろうか？

類推法(Method of Analogues)

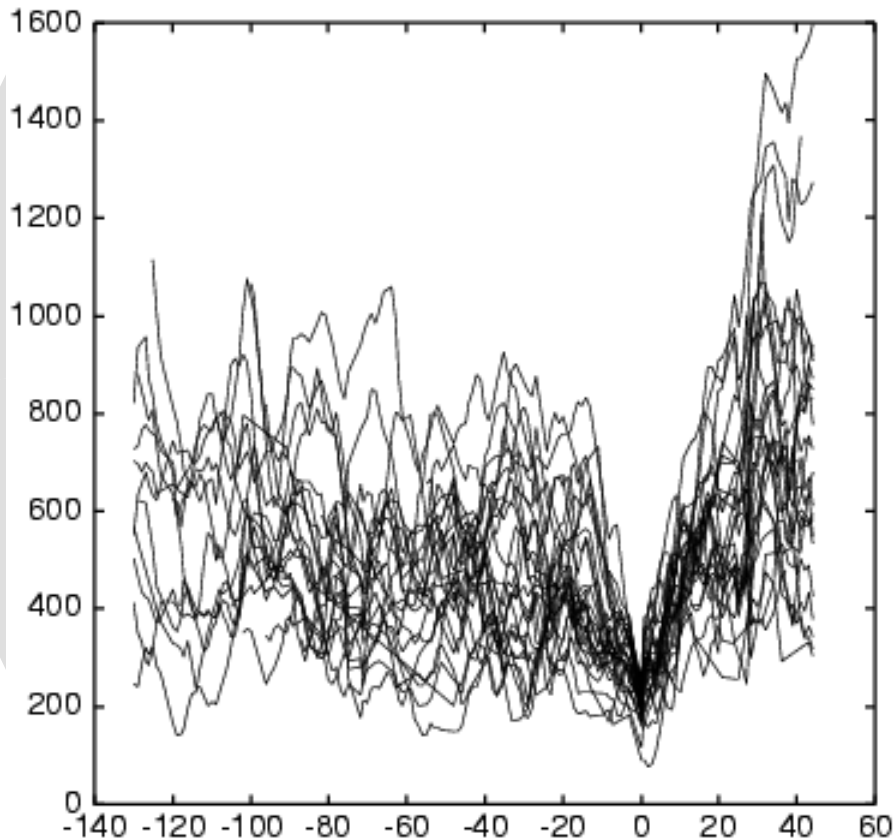
2つの気象パターンの類似度(誤差)が
時間とともにどう変化するか？

- ・ 誤差が2倍に拡大するのは、2.5日から8日＝予測可能性の目安
- ・ 大気力学系の非線形性＝カオス
- ・ 2つの類似パターンが離れていく速度＝リヤプノフ指数

台風の予測可能性(1)



台風の予測可能性(2)



- ・ 画像間距離は急速に拡大する
- ・ 誤差が2倍に拡大する時間は2～3日程度＝予測限界？

情報学パラダイムからの貢献

- ・ 気象学と情報学との連携が重要＝お互いの強みを活用する。
- ・ 詳細な解析を正確な予報につなげてこそ、本当の意味での社会貢献につながる。
- ・ 数値予報システムを補完するような役割＝精巧な数値予報システムも初期値がなければただの箱？

台風ボーガス

- ・ 台風が海上にあると十分な精度の初期値が得られない。
- ・ 予報モデルのグリッドに人工的なモデル台風を埋め込み予報する。

このようなモデル台風に対して、大量データという根拠に基づく新しいモデルを提案、それによって従来は困難だった場合の予報精度が向上すれば嬉しい。

野心的目標

急発達の解析と予報：雲パターンの特徴から、急発達の予兆を発見できないか。

迷走台風の解析と予報：雲パターンの非対称性などを活用して、迷走台風の進路予測を向上できないか。

台風発生の解析と予測：熱帯に散在する大量のクラウドクラスターから、台風に発達しそうな雲塊を識別できないか。

おわりに

1. 熟慮を重ねた前処理を重ねた結果、3万枚以上の規模の高品質な台風画像コレクションを構築した。
2. 情報学パラダイムに基づく台風解析および予報の研究について紹介した。
3. 台風の雲パターンを表現するための適切なモデルはまだ見出せていない。
4. 情報学の立場(特に私の立場)から見ても、時空間データの代表である台風は奥深い研究対象となりうる。