

FFT法による相関解析を利用した雲画像からの風速取得の試み

東 康敬¹, 菊地 時夫²

要旨

高知大学地球環境情報学研究室が運用する「高知大学気象情報頁」には1994年以来大量の気象衛星画像データが保管されている。現在のところ、画像の幾何補正や背景画像（地理情報）を付加した一般向け画像の作成など基本的処理のみが行われているが、その画像から温度・風向・風速といった情報を取り出して整理されてはいない。そこで本研究では、時系列として存在する気象衛星画像の相関関数を求めそれから雲の動き、つまり高層における大気の流れを表す風向・風速を求めることを試みた。本研究で扱う画像は全て「ひまわり6号」(MTSAT-1R)によって観測されたもので、北緯70度から南緯70度、東経70度から西経150度の範囲について4pixel/degreeの緯度経度格子にマッピングされている。この画像を縦横11個ずつのセクション（各セクションは緯度経度10度）に分け、それぞれの中央部分の32×32 pixelを相関解析の対象とした。各セクションについて、1時間の観測時間間隔をおいた2つの画像から相関関数を求め、その最大値を示す位置（差）がそのセクションにおける対象物（雲）の移動量であるとする事ができる。実際の計算においては、最大値の周辺3×3の格子点における相関値を追加して2次関数による内挿で最大となる位置を求めている。また各セクションにおける相関関数を等高線グラフ化することで、計算の有効性を確認している。以上の結果として、風向・風速を表す矢印を元の雲画像に重ねて表示することができた。この結果をアニメーションに表すことなどにより、雲の動きから求まる風向・風速を視覚的に容易に捉えることができ、今後の研究に有効であると思われる。

1 はじめに

気象現象というものは不規則であり、また人が地上でその動きを観測することは不可能である。ここで気象衛星によるリモートセンシングは、地球規模の観測が可能で、また長期にわたる現象の追跡に十分な観測間隔が得られる。これは地上観測点の少ない海洋上や規模の大きな自然現象の観測に大きく貢献している。静止気象衛星「ひまわり6号」(MTSAT-1R)は多様な情報を高精度で観測する高性能な「運輸多目的衛星」である。これは東経140度の赤道、高度3万5,800kmの静止軌道の人工衛星である。このMTSAT-1Rは赤外/可視、水蒸気の3チャンネルに加え、近赤外チャンネルも加わり、これまでできなかった新たな波長での観測、高品質の画像の取得など様々な分野で期待されている。一方、高知大学気象情報頁では、このMTSAT-1Rにより観測された衛星画像データを気象業務支援センターによるインターネット配信を受けそれを画像処理し、保管している。

本研究では、これらのデータを有効活用するため、MTSAT-1Rによる赤外線画像(IR1)から雲の動きを解析し、そこから風向・風速を求め、その結果を視覚的に捉えやすく表示するよう試みた。

2 解析手法

2.1 相関関数

本研究では、画像の解析手法として、相関関数を用いた。相関関数とは2つの関数の時系列における類似度を数値で表したものである。相関関数において2つの関数の類似度を定式化するために、以下の積分式を用いて定義する [1][2][3]。

$$R_{fg} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t + \Delta t)dt \quad (1)$$

¹高知大学理学研究科数理情報科学専攻
Graduate School of Science, Kochi University

²高知大学情報科学教室
Department of Information Science, Kochi University

この(1)式では、 $f(t)$ と $g(t)$ という2つの関数の相関を $R_{fg}(\Delta t)$ で表している。この式から分かることは、 $R_{fg}(\Delta t)$ は $f(t)$ と $g(t)$ を Δt だけずらし乗算したものを、 $-\infty$ から ∞ の範囲分まで積分したものである。つまり相関関数でみる相関とは、2つの関数を少しずつずらしながら積をとっていきことで求まるということである。ただし、関数が周期関数である場合や関数の存在範囲がある場合は、その周期1つ分の中や、存在範囲内で積分を行うことにする。

ここで、本研究に用いる2次元における相関関数について述べる。まずは1次元の時と同様、2次元における相関関数において2つの関数の類似度を定式化するために、以下の積分式を用いて定義する。

$$R_{fg} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)g(x+\Delta x,y+\Delta y)dxdy \quad (2)$$

この(2)式では、 $f(x,y)$ と $g(x,y)$ という2つの関数の相関を $R_{fg}(\Delta x, \Delta y)$ で表している。この計算式を用いて本研究において、解析を行った。

2.2 スペクトルウィンドウ

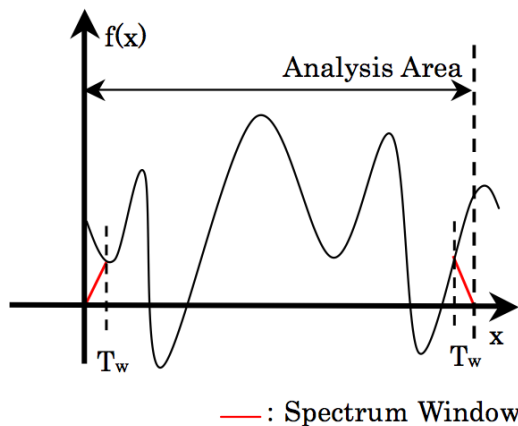


図1. スペクトルウィンドウ

フーリエ変換は本来、無限に長い区間 T に関する積分である。よって、有限長のデータではデータの裾部でデータが周期的に変化しないため誤差を生じる。データの裾部における誤差をなくすために、スペクトルウィンドウを用いる。データの始めと終わりをなだらかに0に近づけることにより、無限に長い領域に0というデータがあるように修正する。1次元の相関関数では相関にかける関数を周期的なデータにするとき(または範囲を区切りたいとき)、解析する関数に対してこのスペクトルウィンドウをかける。

本研究では、2次元においてもそれを利用し、相関にかける画像を特定の範囲でくぎり、解析を行うためそれぞれのセクション毎にスペクトルウィンドウをかけてい

る。これを行うことにより、外枠の部分のデータを0にし、時系列において類似度の高いデータの侵入を防ぎ、誤データをなくすることができる。

3 FFT法を用いた雲画像解析

3.1 FFT法とは

FFTとは高速フーリエ変換(fast - Fourier - transform)の略であり、直交変換の1つである。これは、フーリエ変換を有限離散データに適用するとき必要なデジタル化信号周波数成分(スペクトル)を計算する演算処理を高速に行うアルゴリズムである。今回、FFT法を採用した理由としては計算の高速化にある。一般にデータ数 N が 2^n になっているとき、相関係数を直接計算する場合 $O(N^2)$ に比較して計算量が $O(Nn) = O(N\log N)$ とでき計算の高速化を計ることができる[1][2]。

3.2 FFT法を用いた計算手順

FFT法を用いた相関関数の求め方としては相関にかける2つの画像信号をフーリエ変換(fft)し、デジタル化信号へ変換する。そのフーリエ変換した2つの信号の一方の複素共役(conjugate)をとり乗算を行う。そこで生成されたクロススペクトルをフーリエ逆変換(iff)にかけることにより相関関数(R_{fg})を求める。これがFFT法を用いて相関関数を求める流れである。

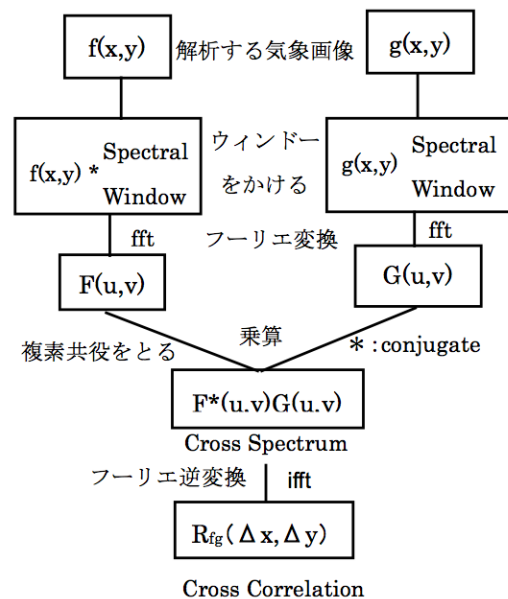


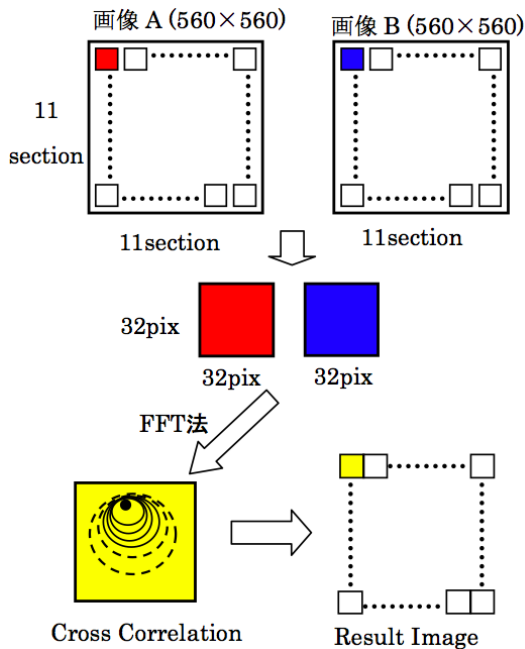
図2. FFT法の手順(フローチャート)

3.3 実行手順

次に解析手法について述べる。はじめに、解析したい画像データを分割する必要がある。これは画像データが表示しているのは自然現象のものであるため、その観測された全ての地点において同じ風速・風向とはいえないからである。よってある程度範囲をしぼり、それを1セクションとし、そのセクション毎に相関をとっていくようにする。ここで本研究における気象衛星画像データはすべて 560×560 (pixel) にマッピングされている。その 560×560 (pixel) の画像を縦横 80 (pixel) からそれぞれ 480 (pixel) まで 40 (pixel) ずつ増加させ、その交点を中心に 32×32 (pixel) のセクションに切り取っていく。そうすると、その元画像を縦横それぞれ 11 セクション毎に分割できていることになる。1セクションを 32×32 (pixel) とおいたのは FFT 法を用いるにあたり画像データを 2^n のデータ数にするためである。

今、解析するそれぞれの気象画像データは 32×32 (pixel) のセクションが $11 \times 11=121$ セクションずつに分割されているようになっているはずである。

ここで、それぞれの画像の対応しているセクション毎に FFT 法を用いて相関関数を求め、それぞれの相関係数のピーク値を求めていく。つまり今、切り分けたセクション毎に雲の流れを捉え、風向・風速を導くために必要な相関値がセクション毎に生成されている。



3.4 相関結果

この FFT 法を用いて算出した相関関数を視覚的に確認できるようにし、また計算の有効性を表した。結果表示

としては、相関ピーク値に●をプロットし、またその周辺の相関値を等高線状に表した。これによりその解析したセクションにおける相関係数の最大値を一目で確認することができ、またそのセクションの相関値の状態も確認できる。ここでピーク値の座標を次のように変換する。

xx : 相関ピーク値 (列) yy : 相関ピーク値 (行)

if xx > N / 2: xx = xx - N

if yy > N / 2: yy = yy - N

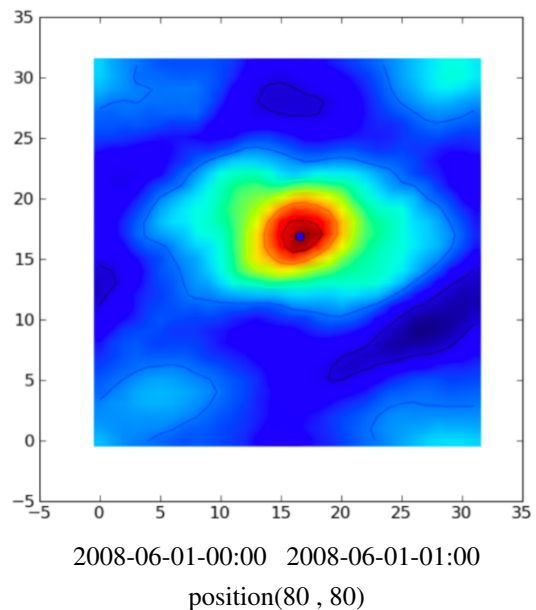
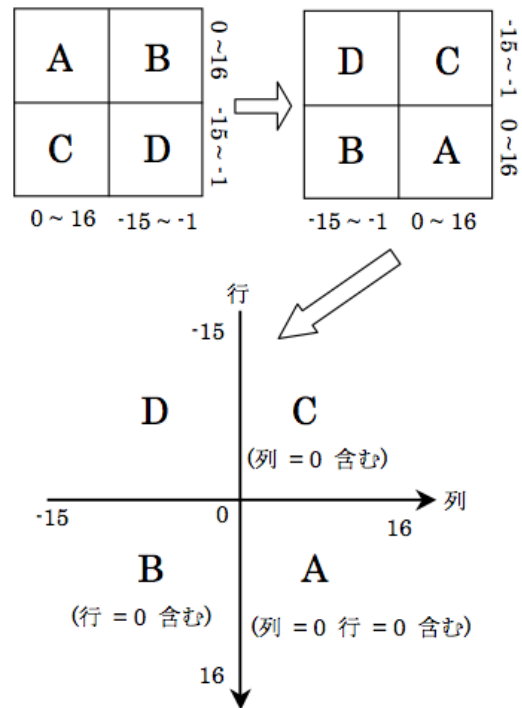


図 5. 相関関数 (等高線表示)

4 風向・風速の算出および表示

4.1 球面から平面への変換

風向・風速の算出前に球面から平面における数値の変換が必要となる [4]. 本研究において行った変換はセクションの中心点の緯度を θ , 経度を λ とおいた時, 次のとおりである.

$$\text{経度方向の距離} = \lambda \cos \theta$$

緯度方向に関しては変換なし

つまり経度方向の距離とその時の経度は相似関係にあるとして考えた. 割合は $\cos \theta$ である.

4.2 風向・風速の算出

ではここで球体から平面への距離の変換を用いて風向・風速を求めていく. 風速は緯度方向経度方向それぞれ次のように表す. また, 移動した pixel 値に $\text{pix} = 2.77 \times 10^4 (\text{m}) / 3600 (\text{sec})$ という値を乗算することにより, 画像上で1時間あたり移動した pixel の値を1秒間あたり移動した距離の値に変換し, 風速の値を算出する. ただし, $2.77 \times 10^4 (\text{m})$ は ALL 画像における赤道上での1 pixel の距離である.

東西方向: $\Delta x * \cos \theta * \text{pix}$
(東を正, 西を負と考える)

南北方向: $-\Delta y * \text{pix}$
(北を正, 南を負と考える)

$\Delta \text{pix} * \text{pix} : \text{pixel/hour} \Rightarrow \text{m/sec}$

風向は今述べた風速の値をそのまま座標平面上で考え, それぞれ相関ピーク値の存在する角度を算出した.

東西方向の風速: vecx

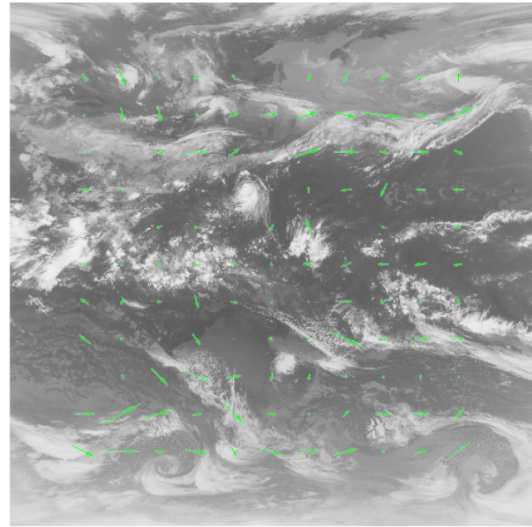
南北方向の風速: vecy

求める風向: deg

```
if vecx != 0:
    deg = atan(vecy/vecx)/pi*180
    if = vecx < 0: deg = deg + 180
else:
    if = vecy > 0: deg = 90
    else: deg = 90
```

ここで求めた風向, そして先に述べた風速の値を用いてそれぞれを表すベクトルを生成し, それを各セクションにプロットしていき結果表示とする.

5 結果表示



2008.Jun.01.00:00 2008.Jun.01.01:00

図 6. 風向風速計算結果の表示

ここに表示しているのは2008年6月1日0時から同1時の気象衛星画像の解析結果である. 緑色で加工された矢印の大きさが風速の値の大きさ, 角度が風向をそれぞれ表している.

6 おわりに

本研究における結果として, 従来は表示のベクトルが極端に大きく表示され, また風速を表すことができなかったが, 球体における風速を求めることができ, またそれをベクトルの大きさと表示することにより, よりいっそう雲の流れを視覚的に捉えやすくすることができるようになった. また, FFT法を用いることにより計算速度の向上も実感することができた. しかし, ウィンドウの範囲, また解析した画像は雲に照準をあわせたものではなく画像自体を数値で表したものを解析しているため誤差が生じると考えられ, より確実なデータを求めるためには雲, または大気の状態を追求し雲の形態変化などの誤差も含め, それぞれの補正の処理が必要と考えられる. また, 本研究での解析手法では1セクションにおいて雲の動きが横16縦16(pixel)分の移動距離しか求められない. その範囲を越えた雲の移動距離となるとその雲の動きに対して逆の結果を表示することになり, 間違った結果表示となってしまう. ただし, 本研究における16pixelとは実際の約400km相当であるため, 無視して考えた. 範囲を越える雲の移動距離を求める場合にはセクションの拡大が必要になってくる. さらに台風などの特有の自然現象に対しての対策も必要と考えられる. この場合は先ほどとは逆で, セクションのベクトル表示

は大まかであるため、細かいデータをとりたい時にはさらに解析範囲を小さくしなければならない。

よって、現段階ではデータの結果の表示の向上、雲特有の形態変化、解析範囲、また赤外面像においての雲の正確な判別が課題となる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、情報科学講座の諸先生方には大学院における講義において大変お世話になり、また菊地研究室の皆さまにも本研究を進める上でサポートをしていただき本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 日野 幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店 (1977)
- [2] T.W. ケルナー: フーリエ解析大全 (上), (高橋陽一郎 訳), 朝倉書店 (1996)
- [3] 物理のかぎプロジェクト: 「物理のかぎしっぽ」フーリエ解析,
<http://www12.plala.or.jp/ksp/fourieranalysis/index.html>
- [4] 気象庁: 気象衛星観測について,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/satellite/satellite.html>