

琉球大学学術リポジトリ

チャンネルIR1およびIR3における日本付近の衛星観測画像解析と時系列解析

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理学部 公開日: 2012-12-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 清野, 光弘, 島袋, 知巳, Seino, Mitsuhiro, Shimabukuro, Tomomi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/25526

チャンネル IR1 および IR3 における日本付近の衛星観測画像解析と時系列解析

清野光弘*, 島袋知巳

琉球大学理学部物質地球科学科

Satellite Image Analysis for Channels (IR1 and IR3) covering East Asia Region and Time Series Analysis

Mitsuhiro Seino*, Tomomi Shimabukuro

Abstract

Image analysis and time series analysis for MTSAT images covering East Asia region of channels (IR1 and IR3) are discussed. Power spectra of time series data are calculated by using Fourier transform and periodicities of peaks in autocorrelation function are explained. Scalograms are evaluated with continuous wavelet transform. Behaviors of orbits for time series data restructured with three dimensional space of states are observed. Finally, the moving averages are calculated by using time series data and its features for the curves of moving average are described.

1 はじめに

地球の大気において、地上 0~11.1 km までの対流圏では、気温は 288.150~216.650 K で、雲は生成・消滅を絶えず繰り返しており、上空に比べて気温が低くなっている。対流圏よりも上空の成層圏では、気温は 216.650~270.650 K で、紫外線を吸収するオゾン層があり、対流圏とは逆に気温が高くなっている。雲は次の各段階を経て生成されることが知られている。

- (i) 地表の空気が日射によって温められサーマルとなって上昇する。
- (ii) 上空の気圧が低くなると断熱膨張し、サーマルの温度が降下する。
- (iii) サーマルが飽和し、サーマルに含まれている水蒸気が過飽和状態になる。このときの水蒸気分子の半径は約 $10^{-4} \mu\text{m}$ である。
- (iv) 土埃や火山灰、すす、海塩粒子などのエアロゾルが雲の粒子の核となり、これに水分子が吸着し、クラスタとして形成され雲が生成される。

エアロゾルには塩化ナトリウム (NaCl) や硝酸アンモニウム (NH_4NO_3)、硫酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) 等が知られている。それらのイオンと電気を帯びた水分子が引きつけ合い、吸着することでエアロゾル粒子が成長する。エアロゾル粒子が水分子を吸着して成長すると雨粒や氷晶となり、地上に落下して雨や雪となる。その降り方は雲の中の海塩粒子の量、雲の温

度によって変わる。そして雨足が強まることで下降気流が強まり、上昇気流を打ち消して、雲は消滅に向かう。

エアロゾル粒子の成長をモデル化する場合において、F.Family と P.Meakin [4] により提案された水滴成長過程の動力学が有用であると考えられる。水滴 (粒子) の成長を時系列で観察し水滴のサイズ依存性を調べると、時刻 t における平均水滴サイズ分布 $S(t)$ はサイズ l に関する水滴の個数分布 $N_l(t)$ を用いて、

$$S(t) = \frac{\sum_l l^2 N_l(t)}{\sum_l l N_l(t)}, \quad (1)$$

$$N_l(t) \propto l^{-5/3} \quad (2)$$

となる。

高知大学気象情報頁 [1] や気象庁の WEB サイト [2] では、気象観測画像データ [1,2,3] が公開されている。その画像データは静止気象衛星 MTSAT-2 によって、連続観測されている。画像データには雲から放射される赤外線をつえた赤外画像および大気中にある水蒸気と雲からの赤外放射を観測した水蒸気画像がある。赤外画像は波長帯が $10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$ のチャンネル IR1 のデータであり、水蒸気画像は波長帯が $6.5 \sim 7.0 \mu\text{m}$ のチャンネル IR3 のデータである。本研究では、2009 年 1 月 8 日 10 時から 2011 年 1 月 8 日 9 時までの IR1 および IR3 のデータで特に日本付近の

* Email: seino@sci.u-ryukyu.ac.jp

画像データに注目し、画像解析および時系列解析を行う。画像解析については、観測データから雲の画像や水蒸気画像のみを特徴抽出し、1ピクセル当たりにも占める割合として雲量率や水蒸気占有率を計算し、さらにフラクタル分析から導出される空間充填指数を求める。解析して得られたデータを用いて、雲量率および水蒸気占有率、空間充填指数の時系列解析を行う。ここでは、フーリエスペクトル、スカログラム、3次元状態空間上に再構成された時系列データの挙動、移動平均法によるトレンドをそれぞれ分析する。

2 チャンネルIR1およびIR3に関する画像処理解析

画像データにおける画像処理解析の方法について述べる。チャンネルIR1およびIR3の画像データの大きさはそれぞれ600x462である。はじめ雲の画像や水蒸気画像のみを画像データから特徴抽出し2値化処理を行う。その後、生成した2値化画像 Y をボックスカウンティング法により解析する。

適当な大きさの画像のピクセルサイズを $s_j = n - j$, $j = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$ とする。ここで、 n は画像データの大きさで462までの値とする。画像データを被覆する正方形の数を N_s とし、 s_j の D 乗和の下限をとった測度 $M_\rho^D(Y)$ は

$$M_\rho^D(Y) = \inf \left\{ \sum_{j=0}^{N_s} s_j^D \mid 0 < s_j \leq \rho, Y \subseteq \bigcup_{j=0}^{N_s} s_j^2 \right\} \quad (3)$$

で与えられる。ここに、 ρ は462以下の任意のピクセルサイズを表す。IR1やIR3の画像データにおける2値化画像を Y_C, Y_W とすると、雲量率 C や水蒸気占有率 W は1ピクセル当たりにも占める割合を表しているため、2値化画像から求めた測度を $600 \times 462 = 277200$ で割った値、すなわち

$$C = \frac{M_1^2(Y_C)}{600 \times 462}, \quad (4)$$

$$W = \frac{M_1^2(Y_W)}{600 \times 462} \quad (5)$$

と定義する。さらに、面積 $s_k^2, 1 \leq k < 462$ を持つ正方形で2値化画像を被覆し個数 N_s を測定した後、最小二乗法を用いて空間充填指数 F を求める。空間充填指数 F は

$$N_s \propto s^{-F} \quad (6)$$

を満たす。

2009年1月8日10時から2011年1月8日9時までのIR1およびIR3における日本付近の全ての画像データについて、雲量率 C および水蒸気占有率 W 、空間充填指数 F をそれぞれ計算する。本研究では、画像データから得られた (C, W, F) を用いて、2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までと2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までのそれぞれ1年間のスケールに分けて時系列解析を行う。このとき、2009年1月8日10時から2011年1月8日9時までの時系列に関して、2009年1月8日10時をTime=0と設定しこれを終了日時の2010年1月8日9時まで続けて設定する。終了日時においては、Time=15983とする。また、開始日時の2010年1月8日10時以降についても同様にTime=0とし終了日時の2011年1月8日9時をTime=15949とする。さらに、雲量率 C および水蒸気占有率 W 、空間充填指数 F についての時系列データをそれぞれ $J_C^{(Year)}(Time), J_W^{(Year)}(Time), J_F^{(Year)}(Time)$ とする。ここで、Yearには2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの場合、Year=2009とし、同様に2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までの場合、Year=2010とする。

3 時系列解析

3.1 フーリエスペクトル

画像処理解析により得られた時系列データ $J^{(Year)}(Time)$ から離散フーリエ変換を計算し、パワースペクトル $P^{(Year)}(f)$ は

$$P^{(Year)}(f) = \left| \frac{1}{T} \sum_{\tau=0}^{T-1} J^{(Year)}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} \right|^2 \quad (7)$$

で与えられる。ここに、 f は周波数であり、 T は取り扱う時系列データの終了日時に対応するTimeの値を表す。雲量率 C および水蒸気占有率 W 、空間充填指数 F に対して、 $J^{(Year)}(Time)$ を $J_C^{(Year)}(Time), J_W^{(Year)}(Time), J_F^{(Year)}(Time)$ にそれぞれ置き換えて計算する。また、同様にして、パワースペクトル $P_C^{(Year)}(f), P_W^{(Year)}(f), P_F^{(Year)}(f)$ を求めることができる。

赤外画像における時系列データに関するパワースペクトルを図1に示す。(i)は2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの雲量率における時系列データに関するパワースペクトル $P_C^{(2009)}(f)$ であり、(ii)は(i)と同様の期間での空間充填指数 F_C におけるパワースペクトル $P_{F_C}^{(2009)}(f)$ を、(iii)は2010年1

月8日10時から2011年1月8日9時までの雲量率におけるパワースペクトル $P_C^{(2010)}(f)$ を、(iv) は (iii) と同様の期間での空間充填指数 F_C におけるパワースペクトル $P_{F_C}^{(2010)}(f)$ をそれぞれ表す。また、表1には赤

外線像における時系列データに関するパワースペクトル (a) $P_C^{(2009)}(f)$, (b) $P_{F_C}^{(2009)}(f)$, (c) $P_C^{(2010)}(f)$, (d) $P_{F_C}^{(2010)}(f)$ の最大強度と日時をそれぞれ示す。

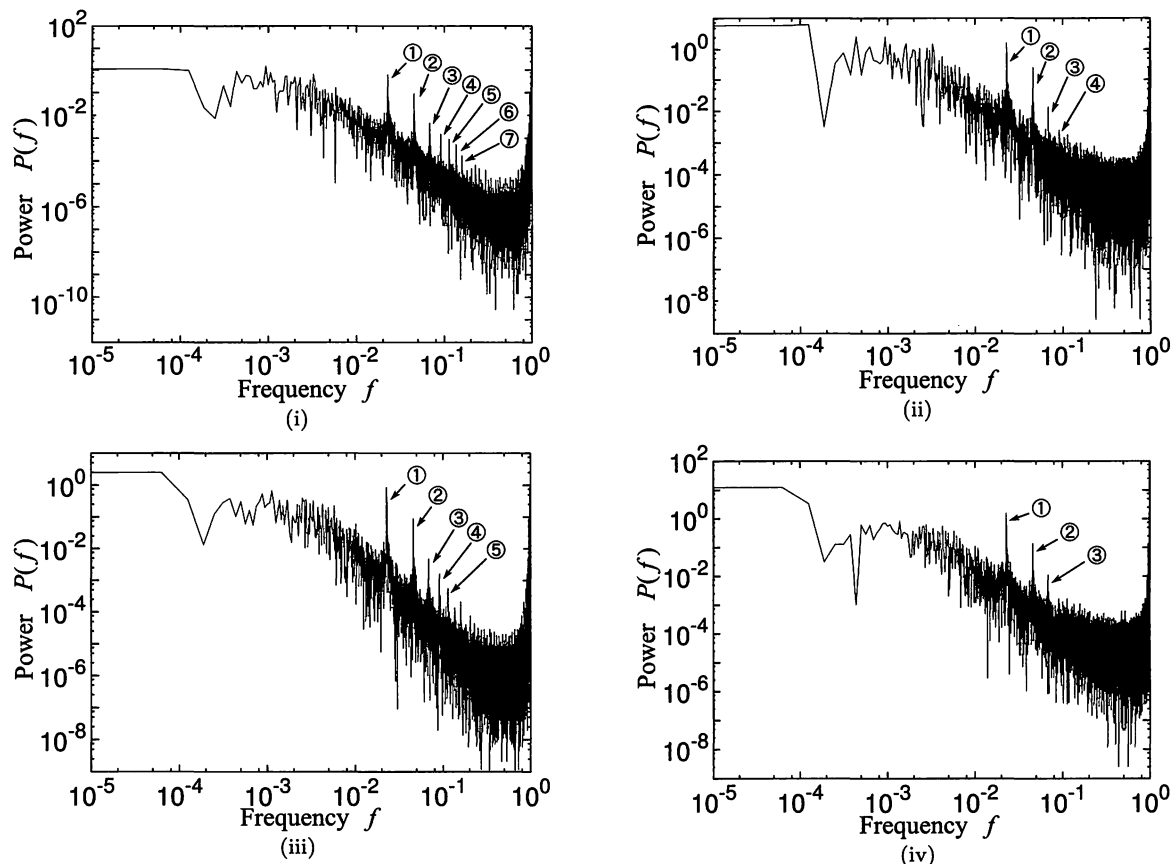


図 1: 赤外線像における雲量率 C , 空間充填指数 F_C に関する時系列データのパワースペクトル. (i) $P_C^{(2009)}(f)$, (ii) $P_{F_C}^{(2009)}(f)$, (iii) $P_C^{(2010)}(f)$, (iv) $P_{F_C}^{(2010)}(f)$.

表 1. 赤外線像に関するパワースペクトルの最大強度と日時. (a) $P_C^{(2009)}(f)$, (b) $P_{F_C}^{(2009)}(f)$, (c) $P_C^{(2010)}(f)$, (d) $P_{F_C}^{(2010)}(f)$.

(a)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022710	0.645428	363	2009年1月16日16時00分
②	0.045546	0.092361	728	2009年1月24日23時30分
③	0.068318	0.004699	1092	2009年2月2日6時00分
④	0.091029	0.001541	1455	2009年2月10日12時00分
⑤	0.113614	0.000930	1816	2009年2月18日17時30分
⑥	0.136386	0.000537	2180	2009年2月27日1時00分
⑦	0.159159	0.000173	2544	2009年3月7日8時00分
(b)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022710	1.667331	363	2009年1月16日16時00分
②	0.045546	0.262988	728	2009年1月24日23時30分
③	0.068318	0.014248	1092	2009年2月2日6時00分
④	0.091091	0.002677	1456	2009年2月10日12時30分
(c)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022759	0.869255	363	2010年1月16日16時30分
②	0.045643	0.090086	728	2010年1月25日0時00分
③	0.068589	0.004934	1094	2010年2月2日8時30分
④	0.091285	0.001639	1456	2010年2月10日16時30分
⑤	0.114295	0.000565	1823	2010年2月19日1時00分
(d)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022759	1.633969	363	2010年1月16日16時30分
②	0.045643	0.142930	728	2010年1月25日0時00分
③	0.068589	0.011253	1094	2010年2月2日8時30分

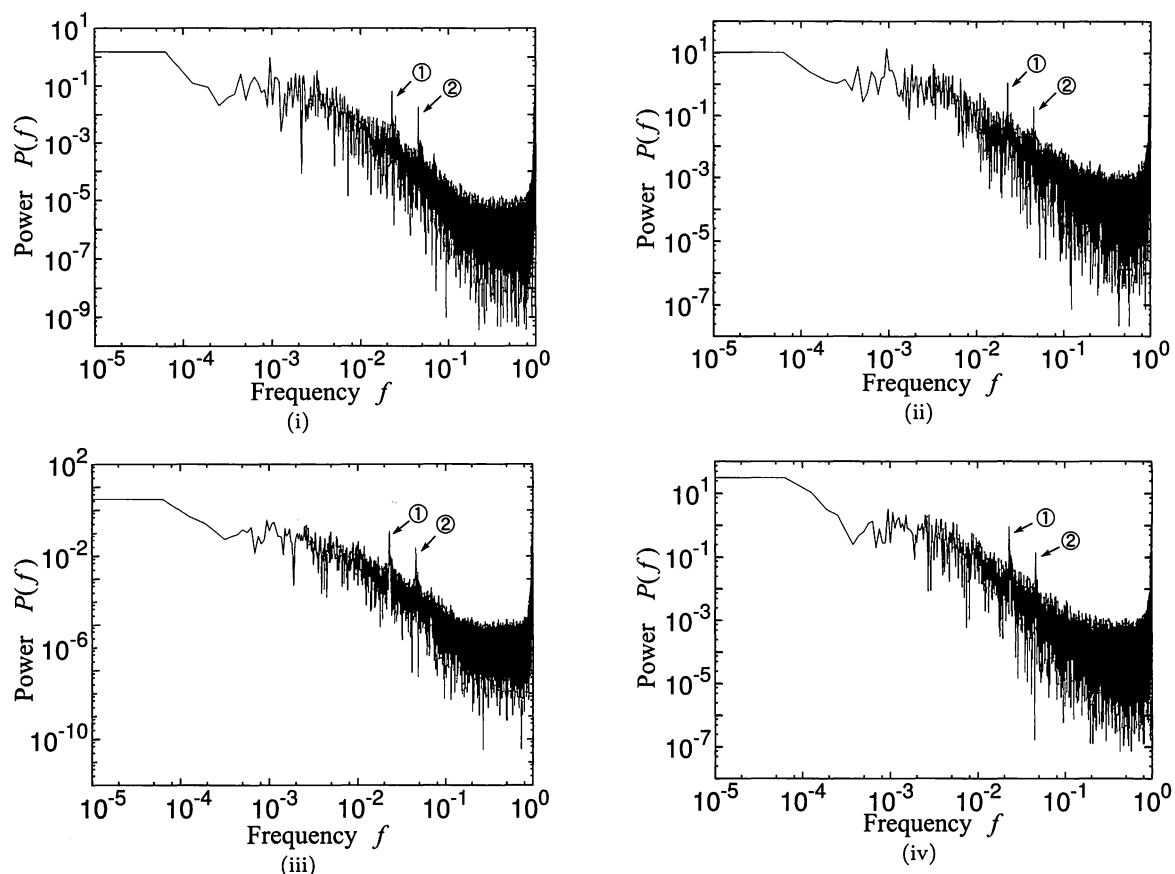


図 2: 水蒸気画像における水蒸気占有率 C , 空間充填指数 F_W に関する時系列データのパワースペクトル. (i) $P_W^{(2009)}(f)$, (ii) $P_{F_W}^{(2009)}(f)$, (iii) $P_W^{(2010)}(f)$, (iv) $P_{F_W}^{(2010)}(f)$.

表 2. 水蒸気画像に関するパワースペクトルの最大強度と日時.

(a) $P_W^{(2009)}(f)$, (b) $P_{F_W}^{(2009)}(f)$, (c) $P_W^{(2010)}(f)$, (d) $P_{F_W}^{(2010)}(f)$.

(a)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022713	0.067567	359	2009年1月16日13時30分
②	0.045426	0.019124	718	2009年1月24日18時00分
(b)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022713	1.144655	359	2009年1月16日13時30分
②	0.045426	0.191761	718	2009年1月24日18時00分
(c)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022759	0.128587	363	2010年1月16日16時30分
②	0.045580	0.024341	727	2010年1月24日23時30分
(d)				
	周波数 f	最大強度	Time	日時
①	0.022759	0.919776	363	2010年1月16日16時30分
②	0.045580	0.140596	727	2010年1月25日23時30分

図1のパワースペクトルにおいて、ピーク位置の間隔は (a) の場合 ① - ② で 199 時間 30 分 (8 日 7 時間 30 分), ② - ③ で 198 時間 30 分 (8 日 6 時間 30 分), ③ - ④ で 198 時間 (8 日 6 時間), ④ - ⑤ で 197 時間 30 分 (8 日 5 時間 30 分), ⑤ - ⑥ で 199 時間 30 分 (8 日 7 時間 30 分), ⑥ - ⑦ で 199 時間 (8 日 7 時間) であり, 平均値は 198.6 時間である. (b) の場合については ① - ② で 199 時間 30 分 (8 日 7 時間 30 分), ② - ③ で 198 時間 30 分 (8 日 6 時間 30 分), ③ - ④ で 198 時間 30 分 (8 日 6 時間 30 分) であ

り, 平均値は 198.8 時間である. (c) の場合については ①-② で 199 時間 30 分 (8 日 7 時間 30 分), ②-③ で 200 時間 30 分 (8 日 8 時間 30 分), ③-④ で 200 時間 (8 日 8 時間), ④-⑤ で 200 時間 30 分 (8 日 8 時間 30 分) であり, 平均値は 200.1 時間である. (d) の場合については ①-② で 199 時間 30 分 (8 日 7 時間 30 分), ②-③ で 200 時間 30 分 (8 日 8 時間 30 分) であり, 平均値は 200 時間となっている. これらの傾向をみると, 雲量率と空間充填指数には時間間隔にほとんど差異が無いことが分かる. すなわち, 2009 年 1 月 8 日 10 時から 2010 年 1 月 8 日 9 時までと 2010 年 1 月 8 日 10 時から 2011 年 1 月 8 日 9 時までのそれぞれの期間で周期的に 198 時間~200 時間で変動していることが分かる.

水蒸気画像における時系列データに関するパワースペクトルを図 2 に示す. (i) は 2009 年 1 月 8 日 10 時から 2010 年 1 月 8 日 9 時までの水蒸気占有率における時系列データに関するパワースペクトル $P_W^{(2009)}(f)$ であり, (ii) は (i) と同様の期間での空間充填指数 F_W におけるパワースペクトル $P_{F_W}^{(2009)}(f)$ を, (iii) は 2010 年 1 月 8 日 10 時から 2011 年 1 月 8 日 9 時までの水蒸気占有率におけるパワースペクトル $P_W^{(2010)}(f)$ を, (iv) は (iii) と同様の期間での空間充填指数 F_W におけるパワースペクトル $P_{F_W}^{(2010)}(f)$ をそれぞれ表す. また, 表 2 には水蒸気画像における時系列データに関するパワースペクトル (a) $P_W^{(2009)}(f)$, (b) $P_{F_W}^{(2009)}(f)$, (c) $P_W^{(2010)}(f)$, (d) $P_{F_W}^{(2010)}(f)$ の最大強度と日時をそれぞれ示す.

パワースペクトルにおいて, ピーク位置の間隔は (a) の場合 ①-② で 196 時間 30 分 (8 日 4 時間 30 分) である. (b) の場合については ①-② で 196 時間 30 分 (8 日 4 時間 30 分) である. (c) の場合については ①-② で 199 時間である. (d) の場合については ①-② で 199 時間となっている. これらの傾向をみると, 水蒸気占有率と空間充填指数には時間間隔にほとんど差異が無いことが分かる.

3.2 ウェーブレット解析

信号解析において, 周波数成分が時系列で変動していく様子を細かく分析するのに連続ウェーブレット変換 [5] がよく利用されている. 本研究において, 雲量率や水蒸気占有率, 空間充填指数の時系列データ

に対して連続ウェーブレット変換を行い, 変動の階層的特徴を調べる. 窓関数にガウシアンを用いて, 時系列データ $J^{(Year)}(Time)$ の連続ウェーブレット変換 $WT(\tau, L)$ によりスカログラムを求める. いま, 窓関数を $\psi_{\tau, L}(T)$ とすると, $\psi_{\tau, L}(T)$ は

$$\psi_{\tau, L}(T) = \frac{1}{\sqrt{L}} \psi\left(\frac{T-\tau}{L}\right) \quad (8)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi L^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-\tau}{L}\right)^2\right\} \quad (9)$$

であり, これを用いて $WT(\tau, L)$ は解析するデータの範囲を Ω として

$$WT^{(Year)}(\tau, L) = \frac{1}{\sqrt{L}} \int_{\Omega} J^{(Year)}(T) \overline{\psi\left(\frac{T-\tau}{L}\right)} dT \quad (10)$$

となる. ここに, L はデータの拡大縮小を行うスケールパラメータであり, τ はデータのシフトをそれぞれ表す. このウェーブレット変換 $WT(\tau, L)$ を用いて, スカログラム $SC(\tau, L)$ は

$$SC^{(Year)}(\tau, L) = \left| WT^{(Year)}(\tau, L) \right|^2 \quad (11)$$

で与えられる.

赤外画像における時系列データに関するスカログラムを図 3 に示す. (i) は 2009 年 1 月 8 日 10 時から 2010 年 1 月 8 日 9 時までの雲量率における時系列データに関するスカログラム $SC_C^{(2009)}(\tau, L)$ であり, (ii) は (i) と同様の期間での空間充填指数 F_C におけるスカログラム $SC_{F_C}^{(2009)}(\tau, L)$ を, (iii) は 2010 年 1 月 8 日 10 時から 2011 年 1 月 8 日 9 時までの雲量率におけるスカログラム $SC_C^{(2010)}(\tau, L)$ を, (iv) は (iii) と同様の期間での空間充填指数 F_C におけるスカログラム $SC_{F_C}^{(2010)}(\tau, L)$ をそれぞれ表す.

水蒸気画像における時系列データに関するスカログラムを図 4 に示す. (i) は 2009 年 1 月 8 日 10 時から 2010 年 1 月 8 日 9 時までの水蒸気占有率における時系列データに関するスカログラム $SC_W^{(2009)}(\tau, L)$ であり, (ii) は (i) と同様の期間での空間充填指数 F_W におけるスカログラム $SC_{F_W}^{(2009)}(\tau, L)$ を, (iii) は 2010 年 1 月 8 日 10 時から 2011 年 1 月 8 日 9 時までの水蒸気占有率におけるスカログラム $SC_W^{(2010)}(\tau, L)$ を, (iv) は (iii) と同様の期間での空間充填指数 F_W におけるスカログラム $SC_{F_W}^{(2010)}(\tau, L)$ をそれぞれ表す.

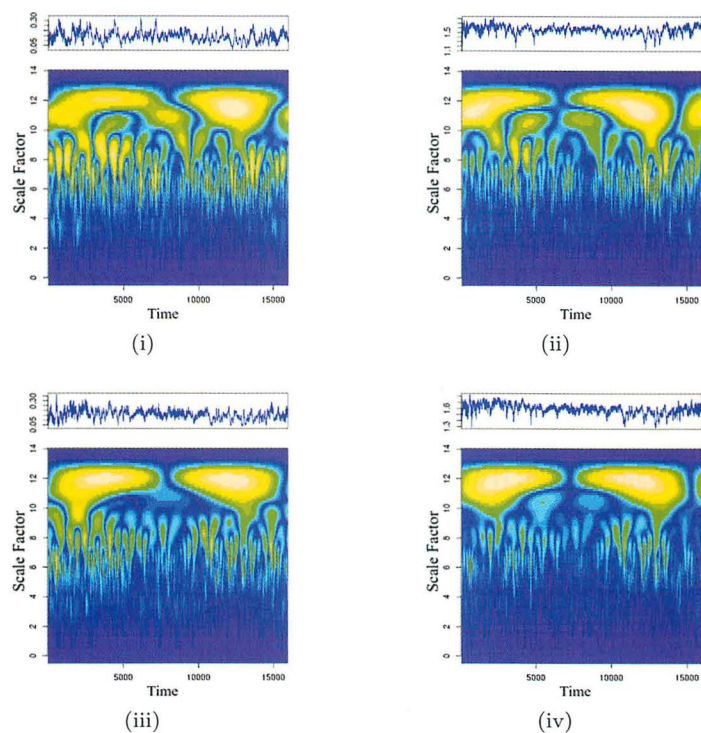


図 3: 赤外画像におけるスカログラム. (i) $SC_C^{(2009)}(\tau, L)$, (ii) $SC_{FC}^{(2009)}(\tau, L)$, (iii) $SC_C^{(2010)}(\tau, L)$, (iv) $SC_{FC}^{(2010)}(\tau, L)$.

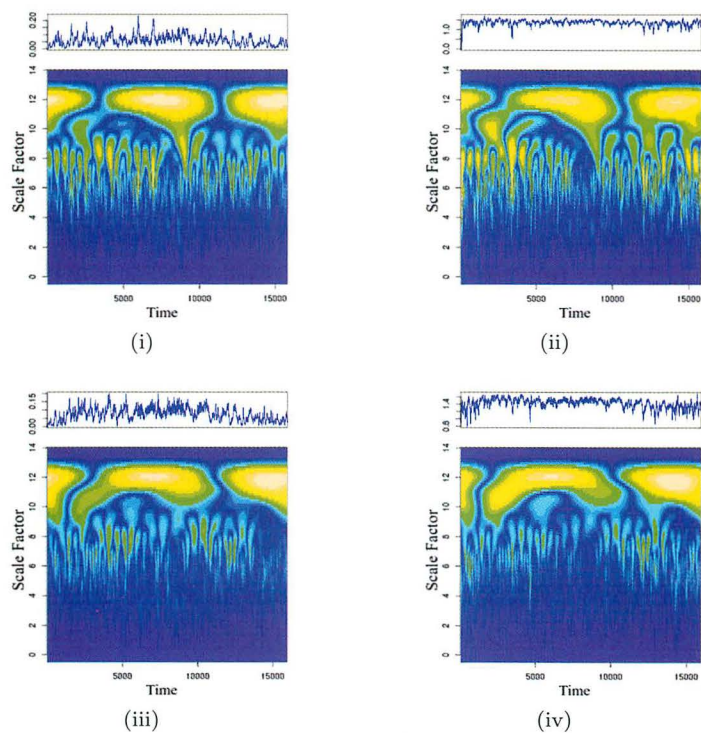


図 4: 水蒸気画像におけるスカログラム. (i) $SC_W^{(2009)}(\tau, L)$, (ii) $SC_{FW}^{(2009)}(\tau, L)$, (iii) $SC_W^{(2010)}(\tau, L)$, (iv) $SC_{FW}^{(2010)}(\tau, L)$.

3.3 時系列データの3次元状態空間上での挙動

赤外画像における雲量率や空間充填指数の時系列データに関して、パワースペクトルの鋭いピークが198時間から200時間のタイミングで周期的に出現することが3.1節で示唆された。もし200時間がこの時系列の周期であるとすると、これに対応するパラメータ Time は $\text{Time}=368$ で与えられる。これを用いて、時系列データを3次元状態空間に再構成する[6]。時系列データ $X(t)$ で構成される3次元上での軌道は $(X(t), X(t+368), X(t+2 \times 368))$ で与えられる。図5に雲量率や空間充填指数の時系列デー

タにより構成された軌道の3次元状態空間における振る舞いを示す。図5において,(i)は2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの雲量率についての振る舞いを,(ii)は(i)と同様の期間での空間充填指数の場合を,(iii)は2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までの雲量率についての振る舞いを,(iv)は(iii)と同様の期間での空間充填指数の場合をそれぞれ示す。

図5において、アトラクタ構造の存在は観察できないが,(i)および(iii)では一様に広がるような軌道をとっていることが分かる。また,(ii)および(iv)では密に凝集するような振る舞いが観察される。

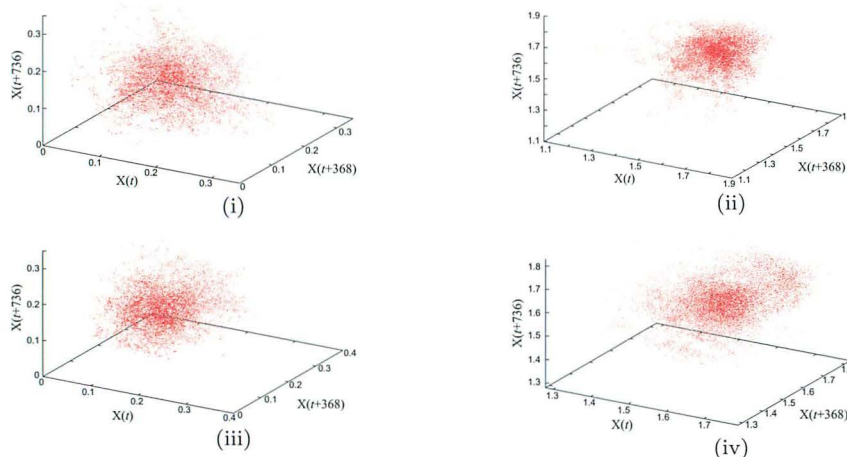


図5: 赤外画像における時系列データによる軌道の3次元状態空間内での再構成

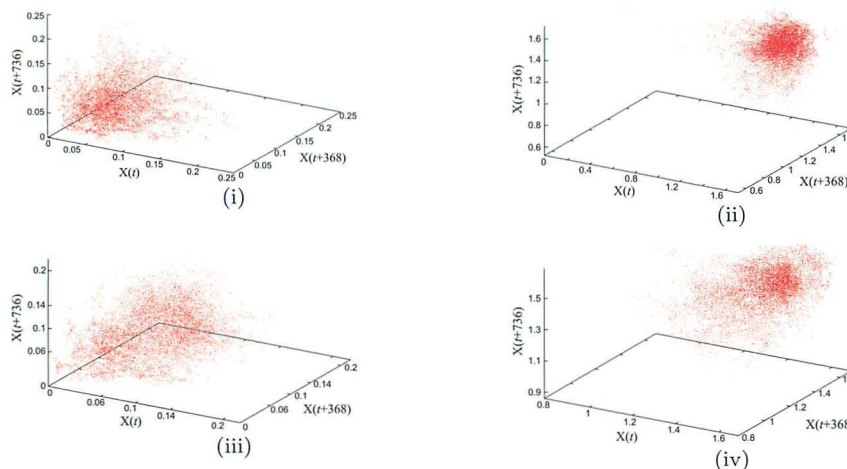


図6: 水蒸気画像における時系列データによる軌道の3次元状態空間内での再構成

図6に水蒸気占有率や空間充填指数の時系列データにより構成された軌道の3次元状態空間における振る舞いを示す。図6において,(i)は2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの水蒸気占有率についての振る舞いを,(ii)は(i)と同様の期間での空間充填指数の場合を,(iii)は2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までの水蒸気占有率についての振る舞いを,(iv)は(iii)と同様の期間での空間充填指数の場合をそれぞれ示す。

図6において,図5と同様にアトラクタ構造の存在は観察できないが,(i)および(iii)では一様に広がるような軌道をとっていることが分かる。また,(ii)および(iv)では図5よりもさらに密に凝集するような振る舞いが観察される。このことから,時系列には特定の周期をとるような構造が内在していると推定される。

3.4 移動平均法による時系列トレンドの様相

時系列データ $J^{(Year)}(Time)$, $0 \leq Time \leq K$ の単純移動平均 [7] を考える。いま,与えられた時系列データ $J^{(Year)}(Time)$, $0 \leq Time \leq K$ に対して, $Time = \theta$ から $Time = n-1+\theta$ までの n 個分のデータの平均値を求める。このとき, $\theta = K-n+1$ まで平均値を計算して新しい時系列データ $\varphi^{(Year)}(\theta, n)$ を作る。ここで, $\varphi^{(Year)}(\theta, n)$ は

$$\varphi^{(Year)}(\theta, n) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} J^{(Year)}(\theta+k) \quad (12)$$

で与えられる。時系列データ $\varphi^{(Year)}(\theta, n)$ を用いて,雲量率や水蒸気占有率,空間充填指数の時系列データに関するトレンドを調べる。赤外画像における時系列データのフーリエスペクトルに関して,鋭いピークが周期的に出現する時間間隔は200時間($Time=368$)であるので, $n = 368$ とおき,さらに開始時刻 θ を雲量率の時系列データにおけるパワースペクトルの初期の鋭いピークが出現する時刻(2009年1月16日16時, $Time=363$)に設定する。また,水蒸気占有率の時系列データに関しては, $Time=359$ に設定する。本研究では,時系列データ $\varphi^{(Year)}(\theta, n)$, $\varphi^{(Year)}(\theta, 2n)$, $\varphi^{(Year)}(\theta, 3n)$, $\varphi^{(Year)}(\theta, 4n)$, $\theta = 359, \theta = 363, n = 368$ を計算し同一平面上にグラフを描く。図7と図8に描かれているグラフで赤色の曲線は $\varphi^{(Year)}(\theta, n)$ であり,緑色は $\varphi^{(Year)}(\theta, 2n)$ であり,青色は $\varphi^{(Year)}(\theta, 3n)$ であり,黒は $\varphi^{(Year)}(\theta, 4n)$ である。図7には,赤外画像についての移動平均曲線

が示されており,このとき $\theta = 363$ に設定されている。また,図8には水蒸気画像についての移動平均曲線が示されており,2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの時系列データにおいては, $\theta = 359$ が設定され,2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までの場合においては,図7と同様に, $\theta = 363$ が設定される。図7において,(i)に2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの雲量率の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_C^{(2009)}(363, 368)$ を,(ii)には(i)と同様の期間での空間充填指数の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_{FC}^{(2009)}(363, 368)$ を,(iii)に2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までの雲量率の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_C^{(2010)}(363, 368)$ を,(iv)には(iii)と同様の期間での空間充填指数の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_{FC}^{(2010)}(363, 368)$ をそれぞれ示す。(i)~(iv)において,移動平均曲線は始め大きく変動しているが徐々に変動の幅が小さくなり $Time$ が8500を過ぎたところから,どの曲線も変動が抑えられてほぼ同時に交差するトレンドとなり,その後再び変動が増加傾向になることが分かる。ここで,移動平均曲線の変動が抑えられて曲線が同時に交差するときの日付と平均値を示す。(i)の A_1 において,日付は2009年7月31日13時30分($Time=8953$)であり平均値は0.154382である。(ii)の A_2 での日付は2009年7月31日13時($Time=8952$)であり平均値は1.574225である。(iii)の A_3 での日付は2010年7月28日10時30分($Time=8791$)であり平均値は0.160625である。(iv)の A_4 での日付は2010年7月28日10時30分($Time=8791$)であり平均値は1.586973である。

図8において,(i)に2009年1月8日10時から2010年1月8日9時までの水蒸気占有率の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_W^{(2009)}(359, 368)$ を,(ii)には(i)と同様の期間での空間充填指数の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_{FW}^{(2009)}(359, 368)$ を,(iii)に2010年1月8日10時から2011年1月8日9時までの水蒸気占有率の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_W^{(2010)}(363, 368)$ を,(iv)には(iii)と同様の期間での空間充填指数の時系列データに関する移動平均曲線 $\varphi_{FW}^{(2010)}(363, 368)$ をそれぞれ示す。(i)~(iv)において,図7と同様に,移動平均曲線は始め大きく変動しているが徐々に変動の幅が小さくなり $Time$ が8500を過ぎたところから,どの曲線も変動が抑えられてほぼ同時に交差するトレンドとなり,その後再び変動が増加傾向になることが分かる。ここで,移動平均曲線の変動が抑えられて曲線が同時に交差するときの日付と平均値を示す。(i)の B_1 において,日付は

2009年7月31日12時30分 (Time=8774) であり平均値は0.083475である. (ii) の B_2 での日付は2009年7月31日12時30分 (Time=8774) であり平均値は1.444690である. (iii) の B_3 での日付は2010年8月5

日13時00分 (Time=9146) であり平均値は0.093858である. (iv) の B_4 での日付は2010年8月5日12時30分 (Time=9145) であり平均値は1.474337である.

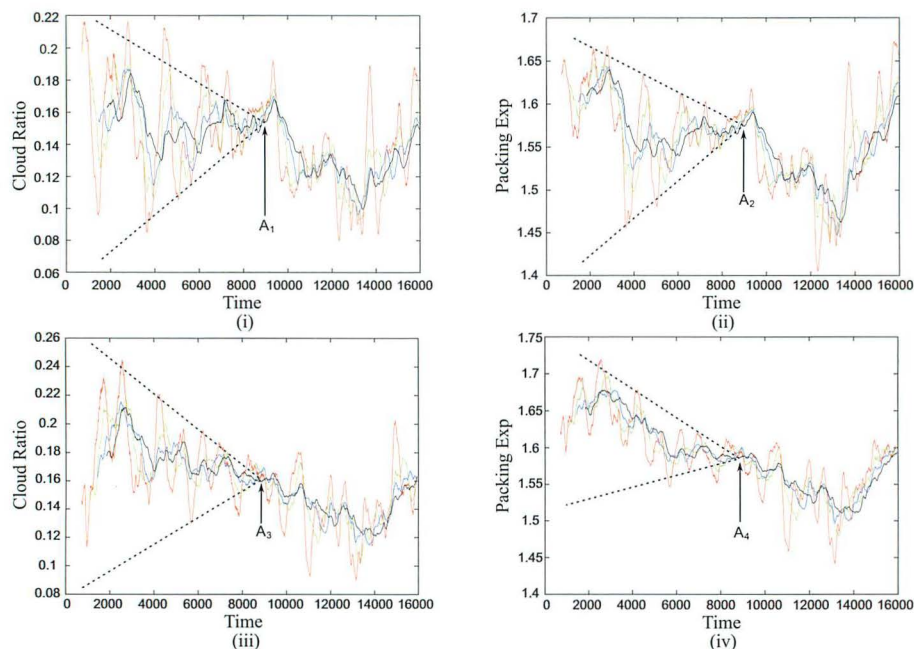


図 7: 赤外画像における時系列データの移動平均曲線. (i) $\varphi_C^{(2009)}(363, 368)$, (ii) $\varphi_{FC}^{(2009)}(363, 368)$, (iii) $\varphi_C^{(2010)}(363, 368)$, (iv) $\varphi_{FC}^{(2010)}(363, 368)$.

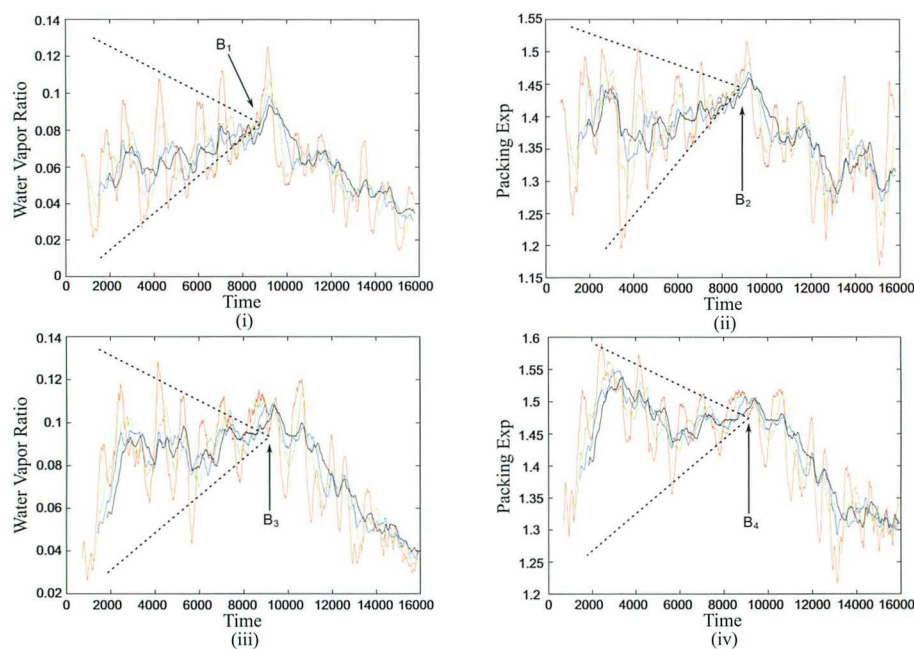


図 8: 水蒸気画像における時系列データの移動平均曲線. (i) $\varphi_W^{(2009)}(359, 368)$, (ii) $\varphi_{FW}^{(2009)}(359, 368)$, (iii) $\varphi_W^{(2010)}(363, 368)$, (iv) $\varphi_{FW}^{(2010)}(363, 368)$.

4 まとめ

2009年1月8日10時から2011年1月8日9時までのIR1およびIR3のデータで特に日本付近の画像データに注目し、画像解析および時系列解析を行った。画像解析については、観測データから雲の画像や水蒸気画像のみを特徴抽出し2値化処理を行ない、雲量率および水蒸気占有率、空間充填指数をそれぞれ求めた。この時系列データを用いて、雲量率および水蒸気占有率、空間充填指数の時系列解析を行った。

フーリエ解析により時系列データのパワースペクトルを求めた。特に赤外画像において、雲量率や空間充填指数のパワースペクトルには鋭いピークが周期的に出現することが分かった。ウェーブレット解析では時系列データを連続ウェーブレット変換で計算しスカログラムを求めた。スカログラムから時系列変動のより詳細な階層的特徴を調べた。パワースペクトルに出現する鋭いピークの周期性から、時系列データを3次元状態空間上に再構成し、その軌道の振る舞いを観察した。さらに、その周期を用いて、時系列データから移動平均曲線を求めた。移動平均曲線は初め大きく変動しているが、徐々に変動が抑えられてほぼ同時に曲線が交差するトレンドになることが分かった。

謝辞

本論文の作成に関して有益な助言を与えてくださいました友寄友造琉球大学名誉教授に謝意を表します。また、原稿を校閲して頂いた理学部物質地球科学科の深水孝則教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] 高知大学気象情報頁, <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/>
- [2] Japan Meteorological Agency, <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html> (English)
- [3] Wataru Takeuchi, Toshihiro Nemoto, Takayuki Kaneko and Yoshifumi Yasuoka, *Asian Journal of Geoinformatics*. **10(3)** (2010) 29-33.
- [4] F. Family and P. Meakin, *Phys. Rev. A* **40** (1989), 3836.
- [5] I. Daubechies, *Comm. Pure Appl. Math.* **41** (1988) 909-996.
- [6] H. D. I. Abarbanel, R. Brown, J. J. Sidorowich and L. Sh. Tsimring. *Reviews of Modern Physics. B* **5**, No.9 (1991) 1347-1375.
- [7] J. Beran, *Statistics for Long-Memory Processes*, Chapman and Hall, 1994.