

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号：14101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21560539
 研究課題名（和文）非線形科学的手法による降水量の 2 + 1 次元ダウンスケーリング
 研究課題名（英文）2+1dimensional downscaling of precipitation data by using non-linear geoscientific method

研究代表者
 葛葉 泰久（KUZUHA YASUHISA）
 三重大学・大学院生物資源学研究科・教授
 研究者番号：50373220

研究成果の概要（和文）：スケーリング理論に基づく、フラクタル理論、特にモノフラクタルではなくマルチフラクタルを適用することを想定していた。だが、結果的には、時間降水量（解析雨量データ）を使って行った解析結果より、重要なパラメータが、時間方向と空間方向で異なることが分かった。こうなると、一つのモデルで 2+1 次元的にダウンスケーリングを行うことはできない。そこで、別の手法を検討することを考慮し、ある程度成功した。

研究成果の概要（英文）：I tried multifractal model to precipitation data. Namely, we investigated 2+1 dimensional downscaling method, but we found that an important parameter is not consistent for time domain and space domain. And thus we developed a new type of model and succeeded.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	0	0	0
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：水工学・自然災害科学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：マルチフラクタル、モノフラクタル、e-model、スケーリング、フィルターモデル、スペクトル法、ユニバーサルモデル

1. 研究開始当初の背景

(1) タイトルの「非線形科学的手法による降水量の 2 + 1 次元ダウンスケーリング」のうち、「非線形科学的手法」というのは、スケーリング理論に基づく、フラクタル理論、特にモノフラクタルではなくマルチフラクタルを適用することを想定していた。

(2) ダウンスケーリングというのは、例えば 25km × 25km の解像度の降水量分布が与えられている場合に、そこから何らかの手法で、

例えば、1km × 1km の解像度のデータに落とし込むことを意味する。これは、空間的なダウンスケーリングであるが、時間的なダウンスケーリングは、例えば、ある地点の日降水量時系列が与えられているとき、それを 1 時間降水量に落とし込むことを意味する。この「ダウンスケーリング」には、「物理的手法」（気象学者が好む手法である）と、「統計的手法」（昔から水文学者が好んで使った手法である）があるとされている。本研究で検討した「非線形科学的手法＝フラクタル的

法」は、後者に属す。

(3)今、ある地点の日降水量時系列があるとする。治水計画立案などに際し、日降水量では解像度が粗すぎる場合がある。例えば1時間降水量が望まれているとする。その場合に、日降水量24で除して1時間降水量を作っても意味がない。そこで、統計的手法を使うのだが、本研究で用いている手法は、以下の様なものである。

① 日降水量の半分の解像度の(粗い解像度の)降水量データは2日降水量(48時間降水量)である。その2倍は、4日降水量、その倍は8日降水量である。

②基本的には、例えば、64日降水量データの時系列(これは1年に6個ほどしかデータがない。つまり、元データが10年分でも、全部でこの時系列は60個ほどしかデータはない)に対してダウンスケーリングを行って、32日降水量時系列を作る、それをダウンスケーリングして16日降水量を作る、8日降水量、4日降水量、2日降水量、1日降水量を作るとする。実は逆に、そもそも1日降水量があるのだから、そこからアップスケーリングをして例えば64日降水量まで作成するのである。しかし、一旦64日降水量時系列データまでできたら、64~1日降水量までダウンスケーリングする様子を観察できる。繰り返すが、実際はアップスケーリングでデータを作るにしろ、解像度の洗い物から細かいものへとダウンスケーリングを行う過程を観察するのである。

③上記の方法で得られた、64日降水量→1日降水量までダウンスケーリングする際の統計的な性質をそのまま維持したまま、1日降水量(24時間降水量)、12時間降水量、6時間降水量、3時間降水量、1.5時間降水量...を作ることができる仮定する。このように、解像度(スケール)に依存せず、同じ性質を保つことを、自己相似的であると言ったり、スケール可能と言ったりする。このような手法で、時間降水量はダウンスケーリング可能である。

④空間的には、例えば、4km×4kmの正方形の中には、1km×1kmの正方形が4つ入っている。この4km×4kmが、今得られている最も細かいデータだとする。上述の時間的なダウンスケーリングの方法と同じ方法で、64km×64kmの正方形の降水量を、アップスケーリングで求めることができる。そして、逆に、64km×64km、32km×32km.....4km×4kmの正方形へのダウンスケーリングの統計的な様子を観察すれば、それを、1km×1kmへのダウンスケーリングに適用できる。

結局は、時間的なダウンスケーリングも、空間的なスケールリングも同じことである。

⑤さて、いま、ここに、日降水量時系列データがあり、その空間的解像度が5km×5kmであるとする。これから、1km×1kmの空間的解像度を持つ、1時間降水量時系列データを作成したいとする。その場合、時間的なダウンスケーリングと空間的なダウンスケーリングを同時に行うことになる。同時に行うということは、降水量データは空間的に考えれば2次元的に分布するので、空間的に1次元、時間的に1次元の、時空間的に2+1次元のダウンスケーリング手法を考えることになる。3次元と称さなかったのは、時間方向と空間方向を別々に表現する方が適切と考えたためである。

2. 研究の目的

前節のような背景があり、手法は、非線形科学的手法のうちでも、この研究に最適なモデルであると考えた(著者は10年程度、この種の研究をやっており、準備的研究の結果、この時点では最適と考えていた)マルチフラクタル手法を用い、2+1次元シミュレーションを行うための技術を開発することと考えた。

そこで一番大切なのは、以下の事項であった。つまり、以下の事項を解決できなければ、この手法で2+1次元のシミュレーションを行うことは不可能と考えた。

(1)場がマルチフラクタルである場合、この領域の研究の先駆者である Lovejoy and Schertzer の手法を参考にすると、モデルは、 α 、C1、H という3つのパラメータで表現できる。すべてのマルチフラクタルの場がこの3つのパラメータで表現できるので、彼らは Universal model と呼んでいる。ここで、通常、H や C1 を含め、これらのパラメータは、軸の方向によって同じ値をとるとは限らない。

(2)仮に時間軸を無視し、空間軸だけを考えたとしても、気象の場は、地球の西から東方向への回転があるため、東西方向と南北方向の場は微妙に異なる。そのため、 α 、C1、H の3つのパラメータが南北方向と東西方向で異なる値を持つこともありうる。時間方向はなおさらそうで、そもそも時間方向と空間方向は、統計的性質が異なるとしても、特に驚く必要はない。

(3)ここで、2+1次元的なシミュレーションを行う場合、 α の値は、空間の2軸方法、時間の一軸方向でほぼ一致している必要がある。

Lovejoy(personal communication) によれば、3 方向の α は一致しているはずだが、著者らの予備的検討によると、時間方向の α のみ、少し違った値を示す傾向があった。本研究では、まずこことはっきりさせる必要があった。これが研究の一つ目の目的であった。

(3) 上述のように、仮に 3 方向の α が同一値を示さない場合、異なるモデル化手法を探索しないとイケない。これが、研究の二つ目の目的であった。

3. 研究の方法

本研究での解析は、基本的に以下のような流れによる。

(1) データのスペクトル解析を行う。ここで、データに $E(\omega) = \omega^{-\beta}$ なる関係があれば、データの場合はモノフラクタルまたはマルチフラクタルでモデル化できる。 ω は角振動数で、 $E(\omega)$ はパワースペクトルである。本稿では時系列データを用いて説明を行うので、 ω を用いているが、空間データならば波数 k を用いる方が適当である。

(2) 上述の関係があるならば、モノフラクタル、マルチフラクタルのうち、いずれのモデルが適当であるかを検討する。

(3) もし、マルチフラクタルが適当ならば、DTM (Double Trace Moments, Lavallée, 1991) を用いてマルチフラクタルを表現する $C1, H$ というパラメータを求める。パラメータが求まれば、場は FIF (fractional integrated flux model) でモデル化できる。このあたりは、Lovejoy and Schertzer [2007] (この文献が初出の文献ではないが、review article としてわかりやすい) を参照されたい。

(4) もし、モノフラクタルが適当であれば、モノフラクタルモデルのうち、Bm (ブラウン運動), fBm (非整数ブラウン運動), fLm (非整数 Lévy 運動) の適用を検討する。これについては次節で述べる。

(5) もし、上述の $E(\omega) = \omega^{-\beta}$ なる関係がなければ、(4) の Bm, fBm, fLm の構成法を参考に、他のフィルターを用いたモデルの適用を検討する。後述するように、本稿で述べる日降水量の時系列データは、(モノ、マルチ) フラクタルモデルの適用が適当でないという結論が得られたため、別のフィルターを検討する。

4. 研究成果

以下、結果を示す。

(1) 結果的に、時間降水量 (解析雨量データ) を使って行った解析結果より、上述の α 値が、時間方向と空間方向で異なることが分かった。こうなると、一つのモデルで 2+1 次元的にダウンスケーリングを行うことはできない。そこで、別の手法を検討することを考慮した。

(2) マルチフラクタルのパラメータを同定するためには、Lavalée の考案した DTM (Double Trace Moments) を用いるのが標準である。ただし、この方法は、非常に多くのデータを要す。つまり、データ個数は、実際のデータ個数の対数値を「個数」と考えられる。つまり、例えば降水量のデータが 64 個あったとする。この場合、最終的にデータをグラフにプロットする際には、 $2^{**0}, 2^{**1}, 2^{**2}, 2^{**3}, 2^{**4}, 2^{**5}, 2^{**6}$ (べき乗を表す) と、プロットする点は 7 個しかない。64 個より一ランク多いデータ数は 128 個である。65~127 個データがあっても、あまり意味がないのである。予って、データを有効に使うことができない。こういう理由もあって、マルチフラクタルで 2+1 次元モデルを作るというのを (α の異方性により) 断念する以上、マルチフラクタル以外の、さらにデータを有効に使うことのできる手法も視野に入れた解析を行うべきと考えた。

(3) 以下では、

① 51 地点の日降水量データを用い、マルチフラクタルではなく、モノフラクタルを適用することを想定した研究成果、

② 解析雨量時系列 (1 時間降水量) にあくまでマルチフラクタルを適用するが、2+1 次元ではなく、時間方向の一次元解析を行った成果、を挙げる。どちらも、水文・水資源学会 2013 研究発表会に投稿した発表要旨のコピーを多少修正したものである。

① 51 地点の日降水量データ

100 年分以上の日降水量時系列データが得られる 51 か所の地上気象観測データを用いて解析を行った。年内変動のモデル化を試みたが、気温、降水量などは季節性が強いなどの理由により、生データそのものを用いてスペクトル解析を行った場合、 $E(\omega) = \omega^{-\beta}$ (右下がりの log-log linear な関係を示し、卓越した各振動数がない) という関係を示さない、そこで、111 年分のデータを用いて 365 日分の“平年値”を求め、各年各日の日降水量データの、平年値からの anomaly を求めスペクトル解析を行った。具体的には、以下のような手順である。

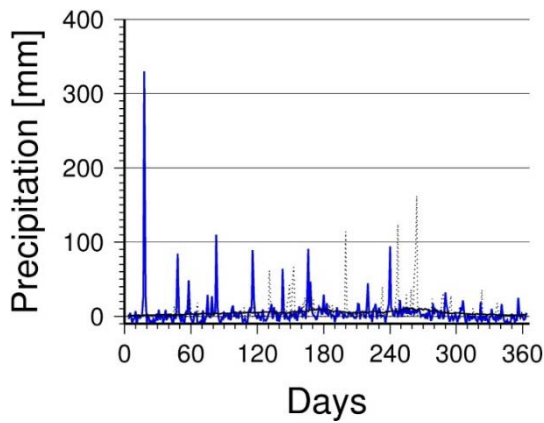


図 1

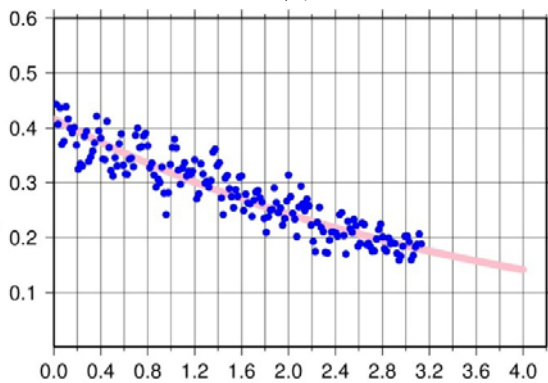


図 2

○
$$R(\bar{n}) = \sum_{m=1901}^{2011} R(m, \bar{n}) / 111 \quad \leq n \leq$$

 (平年値を求める)

- 日移動平均をとることによって $R(n)$ のスムージングを行い、それを $R(\bar{n})$ とする。
- anomaly $\Delta R(m, n) = R(m, n) - R(\bar{n})$ を計算して、スペクトル解析を行う。

図 1 は、三重県、津市の解析結果を表したものである。これにより、以降で用いるフィルターとして次式(1)のような指数関数型のフィルターを得た。

$$E(\omega) = a \cdot \exp(-b \cdot \omega) \dots\dots\dots (1)$$

なお、他の 50 地点についても、同様の式で表されるフィルターを得た。

Bm, fBm, fLm の構成法として, Lavallée[2008] は、次式(2)を用いている。

$$Y_x \propto \sum_{s=2-N/2}^{1+N/2} \left| \frac{\omega}{2\pi} \right|^{-\beta/2} F_s(X_x) \exp\left(\frac{-2\pi i(x-1)(s-1)}{N}\right) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 X_x は乱数発生器で発生させたホワイトノイズで、Gauss 分布を用いた場合には、

は fBm に (の特殊ケースが Bm である), Lévy 分布を用いた場合に fLm となる。ここに、はスペクトル解析で求められる である。この式は、ホワイトノイズを という関係を用いてフィルタリングしているのにすぎない。ただし、上述のように、ここで用いている日降水量データの anomaly のパワースペクトルは、(1)式のようにあらわされるので、(2)式を多少修正し、次式(3)のようなモデルを用いる。著者らは、このモデルを e-model と称している。

$$\Delta R \propto \sum_{s=2-N/2}^{1+N/2} \left| a \cdot \exp(-b \cdot \omega) \right|^{1/2} F_s(X_x) \exp\left(\frac{-2\pi i(x-1)(s-1)}{N}\right)$$

..... (3)

ここで、 ΔR に実測の anomaly を代入し、 X_x を逆算すると、確率分布形として Gaussian より Lévy 分布の方が適当であることがわかる。以上の知見を総合し、式(3)でシミュレーションを行った。図 2 はその一例である。シミュレーション結果(実線)が実測の日降水量(点線)の特徴をよくつかんでいることがわかる。

② 解析雨量時系列の解析 (マルチフラクタル解析)

結果的に、解析雨量(つまり 1km×1km メッシュの 1 時間降水量)の時系列データは、マルチフラクタルでモデル化することができることが分かった。ここでは、その根拠となる について、log-log linear な関係がどの程度の精度で成立しているかを示しておく。図 3 は、log-log linear な関係における相関係数を表したものである。東海地方近辺を対象に解析を行ったが、ほとんどの地域で、非常に高い相関係数で時系列データが log-log linear な関係を持つこと、つまり時間データの場がフラクタル性を持つことがわかる。

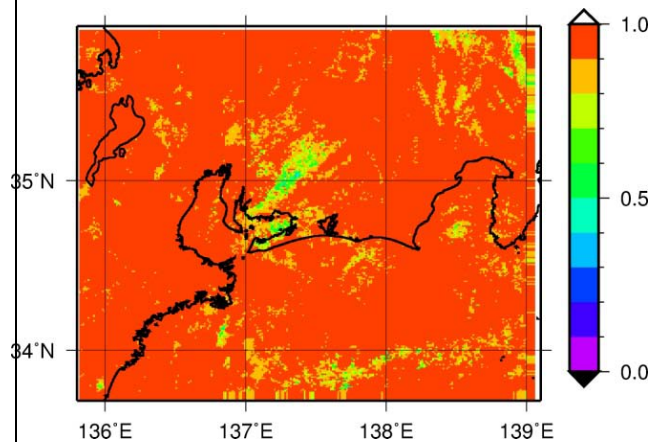


図 3

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 13 件)

- (1) 五味千絵子, 立浪勢津子, 葛葉泰久, 非線形確率モデルを用いた日降水量時系列のモデル化, 日本地球惑星科学連合大会 2013 大会, 千葉市, 2013. 5. 23.
- (2) Yasuhisa Kuzuha, Setsuko Tachinami, Chieko Gomi, Application of the fractional Levy motion to precipitation data, AGU Fall meeting 2012, San Francisco, 2012. 12. 04.
- (3) Chieko Gomi, Yasuhisa Kuzuha, Survey of Great East Japan Earthquake Evacuation Activities from Newspaper Articles, AGU Fall meeting 2012, San Francisco, 2012. 12. 06.
- (4) 五味 千絵子, 葛葉 泰久, 降水量の非線形科学的モデル化手法について, 気象学会中部支部研究会, 刈谷市, 2012, 11. 14.
- (5) 吉田知江, 葛葉泰久, 古川文菜, すべり分布のスケーリング, 日本地震学会秋季大会, 函館市, 2012. 10. 17.
- (6) 葛葉泰久, 日降水量の確率分布と異常値に関する研究, 水文・水資源学会研究発表会, 広島, 2012, 09. 27.
- (7) 葛葉泰久, 五味千絵子, 想定外の科学, 自然災害学会第 31 回学術講演会, 弘前, 2012. 09. 18.
- (8) 吉田知江, 葛葉泰久, マルチフラクタルを用いた断層すべり量分布のダウンスケーリングに関する基礎的研究, 日本地球惑星科学連合大会 2012 大会, 千葉市, 2012. 5. 24.
- (9) Kuzuha, Y.; Tachinami, S., Application of the universal multifractal model to Japanese DEM, San Francisco, 2011. 12. 08.
- (10) 立浪勢津子, 葛葉泰久, マルチフラクタルによる日本の標高データの非線形解析, 日本地球惑星科学連合大会 2011 大会, 千葉市, 2011. 5. 25.
- (11) 五味千絵子・葛葉泰久, 大雨頻度の長期解析に関する研究, 気象学会中部支部研究会, 富山市, 2010. 11. 15.
- (12) 五味千絵子, 葛葉泰久, 再解析データを用いた豪雨の長期変動, 自然災害学会第 29 回学術講演会, 岐阜, 2010. 09. 16.
- (13) 葛葉泰久, Wakeby 分布を用いた時間降水量の非定常頻度解析, 土木学会年次学術講演会, 北海道札幌市, 2010. 9. 03.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者

葛葉 泰久 (KUZUHA YASUHISA)

三重大学・大学院生物資源学研究所・教授

研究者番号: 50373220

