

II-22 流域スケールにおける風の場の算出手法に関する研究

北海道大学工学部 正員 山田 正
北海道大学工学部 学生員 内藤 修
北海道開発局 正員 中津川 誠

1. はじめに

近年レーダー雨量計の発達によって局地的な大雨の計測技術は大きく進歩した。このことはダムや河川の管理などの実務面のみならず、水文学の研究分野においても新しい進展を促している。とりわけ、降雨発生 の物理機構の解析を行う必要性が生じて来ている。このような状況において、本論文は降雨発生 の重要な要因である風の場の計算手法の開発を、流域スケールにおいて行ったものである。

2. 研究手法の概要

図2.1は、本研究で行った風の場を計算する手順を示すフローチャートである。この手法は、著者らによる文献(2)に示す手法をさらに進展させたものである。本研究で新たに組み込んだ操作は地形情報をデジタルマップとして記憶させたのちに行うフーリエ変換により得られる波風成分のうち、低振幅あるいは高周波成分を除去する操作である。これにより流域スケールの風の場に及ぼす地形のフーリエ成分の寄与が明かにされる。本研究の一連の操作の後に得られる風速データを降水量モデルにインプットすることにより、降水量も算出できるようになっている。降水量の算出については、本論では結果のみを載せ、詳細は別途発表の予定である。(5)

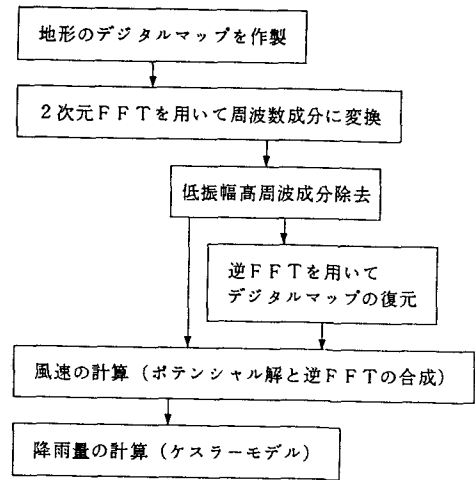


図2・1 計算の手順を示すフローチャート

3. 風の場の計算手法

3・1 地形のデジタルマップの作製

本研究ではメッシュ間隔を1 km、メッシュ数Nを64としてデジタルマップを作製した。このとき、解析を行う領域は63 km四方の正方形となる。

3・2 地形のフーリエ変換

本解析ではデジタルマップ化された地形に対し2次元FFTを用いて周波数成分に分解する。 $N \times N$ 個の地形データ(本研究では標高値)が与えられたとき、2次元FFTによって得られる周波数成分は(3・1)式のように表される。

$$F(p, q) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{i \left(\frac{2\pi}{N} \right) (mp+nq)} \quad (3.1)$$

3・3 低振幅成分あるいは高周波成分の除去

周波数成分 $F(p, q)$ の振幅スペクトル $S(p, q)$ を(3・2)式のように定義する。

$$S(p, q) = \frac{1}{N^2} \sqrt{\{ (3.1) \text{式の実部} \}^2 + \{ (3.1) \text{式の虚部} \}^2} \quad (3.2)$$

本研究では(3・2)式で定義された振幅スペクトルのうち低振幅の周波数成分を除去し、残された成分のみから構成される地形に対して風の場を計算を行ってみた。また一切のフーリエ成分も除去せずすべての成分から構成される地形に対しても風の場の計算を行い両者の風の場を比較することにより風の場に与える地形の水平方向スケールの効果を検討した。

図3・1は地域Aの2次元周波数と振幅の大きさの関係を示している。この図から低周波数の振幅スベ

クトルが圧倒的に大きいことがわかる。最大スペクトルの値は20.7であることが示されている。図3・2は図3・1に示す2次元スペクトルのうち、 $S(p, q) = 2.5$ （最大スペクトル値の12%）以上の成分を表示したものであるが、この図より最大スペクトルの12%以上の成分は概ね10項目以上の成分、波長にして6.3km以上の波から構成されていることがわかる。また第32項を軸に振幅スペクトルの値は対称形となっていることがわかる。

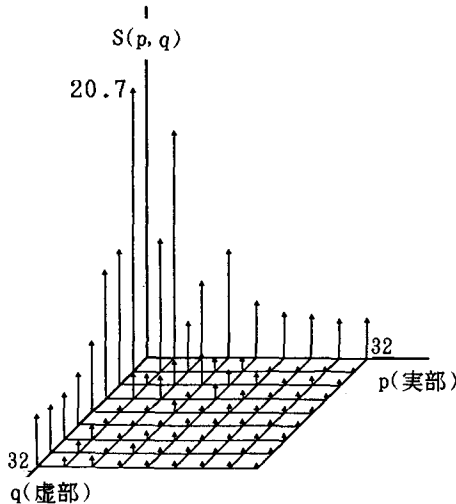


図3・1 周波数次数と振幅スペクトルの関係
(地域A)

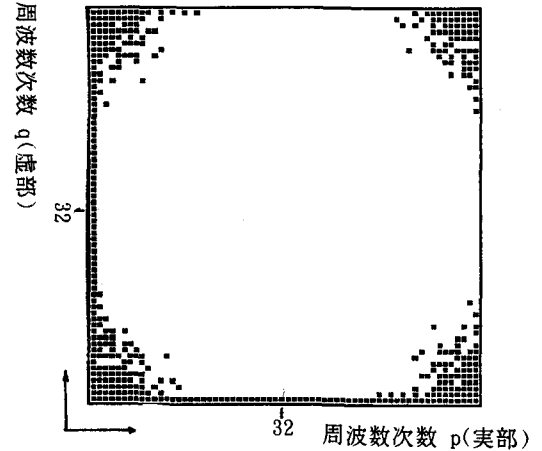


図3・2 振幅スペクトル 2.5 以上の周波数次数
(地域A)

3・4 風速の計算

本研究で用いた風の場の計算手法は筆者らによって開発されたもので参考文献(2)に示されている。この手法の特色は風速の挙動をポテンシャル流れと仮定し、かつ、地形をフーリエ成分に分解している点にある。流れの座標系を図3・3のように設定し境界条件を(3・3)式、(3・4)式のように与えると風速 u , v , w は以下の式になる。

$$z = 0 \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (3.3)$$

$$z = -h \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = U \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (3.4)$$

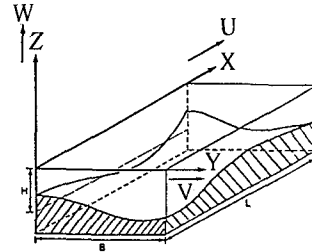


図3・3 流れの概要と座標系の定義図

$$u = U + U \frac{1}{N^2} \sum \sum F(p, q) \frac{k^2 \cosh(\beta z)}{\beta \sinh(\beta h)} \exp\left(\frac{2\pi i}{N} mp\right) \exp\left(\frac{2\pi i}{N} nq\right)$$

$$v = U \frac{1}{N^2} \sum \sum F(p, q) \frac{k l \cosh(\beta z)}{\beta \sinh(\beta h)} \exp\left(\frac{2\pi i}{N} mp\right) \exp\left(\frac{2\pi i}{N} nq\right)$$

$$w = -U \frac{1}{N^2} \sum \sum F(p, q) \frac{k i \sinh(\beta z)}{\sinh(\beta h)} \exp\left(\frac{2\pi i}{N} mp\right) \exp\left(\frac{2\pi i}{N} nq\right)$$

一般に、大気の運動を議論するときはコリオリ力、摩擦力などを考慮するが、本手法では一辺が数十km程度の正方形領域を対象とするためコリオリ力は考慮していない。また本研究では地表面の風の挙動ではなく上空の上昇流を中心に解析するため地面摩擦も考慮していない。

4・実地形における風の場の計算

4-1. 対象地域

北海道において地形性降雨が卓越すると考えられる地域を二つ選んだ。一つは菊地ら(4)によって大規模な観測が行われている北海道南西部の、オロフレ山地及び羊蹄山を含む一辺が63kmの正方形領域である。この地域を地域Aと名づけ、南東風及び南西風を与えて解析した。他の一つは筆者らが現在降雨の観測を続けている北海道中部の山脈を含む一辺が63kmの正方形領域である。この地域を地域Bと名づけ、西風を与えて解析した。(図4・1参照)

4-2 条件設定

前節で述べた風の場には大きな影響を与えないと思われる高周波の地形成分を見い出すために、ここでは除去する振幅スペクトルの大きさを、 $S(p, q) = 10$ (最大スペクトルの48%)以下と2.5(最大スペクトルの12%)以下としてみた。これは、波長にして約10km以上及び約5km以上のみを考慮したことになる。これらより長波長成分から構成される地形に対して風の場を計算し、全く除去しないものも含めた3者を比較した。図4・4、図4・5等の図から、最大スペクトルの12%以下を除去したデータから算出された風速と、全く除去しないデータから算出された風速とは、ほとんど同じであることを確認した。その後は、最大スペクトルの12%以下を除去したデータを用いて降雨量までを計算している。

ふたの高さ、即ち上昇流がゼロとなる高さについては、対流圏と成層圏の境界の10000mに設定した。また、高さ方向のメッシュ数は200mおきに設定した。

与える主流の大きさについては、10m/secとして風速の計算及び降雨量の計算をした。風速の計算は、線形モデルなので、上昇流の大きさは主流の大きさに比例する。

4-3 計算結果と考察

(1) 図4・2及び図4・3は、地域Aをふ角30度で南東方向から見おろした鳥瞰図であり高さは3倍に強調してある。両図を見比べると、図4・3の方が地形がなめらかになっていることがわかる。この理由は図4・3は高周波成分を除去したため、細かい地形の凹凸が現れないためである。

(2) 図4・4及び図4・5は同じ断面であるが、図4・4は最大スペクトルの12%以下を除去(波長にして約5km以下を除去したことになる)してある。両図とも上昇流発生領域は、ほとんど同じであるといえる。図4・6及び図4・7から、上昇流の鉛直分布についても、最大スペクトル12%以下除去による変化はないといえる。しかし、最大スペクトルの48%以下を除去(波長にして約10km以下を除去)した場合は、D地点において変化がみられる。他の地点においては最大スペクトル12%以下を除去しても1km以上上空の上昇流にはほとんど変化は見られないことを確認した。このことから波長にして5km以下の高周波成分は上空の風の場にはほとんど影響を与えないことがわかった。よって、以下の計算では、最大スペクトルの12%以下を除去した地形を用いて計算を行ってみた。

(3) 図4・8及び図4・9により、地域Aに南東風が吹いた場合の上昇流発生の様子を3次元的に見ることができる。図4・8より、オロフレ山系上空の方が羊蹄山上空よりも高くまで上昇流が及んでいる様子がわかる。このことより低周波成分から構成される地形の上空では、より上空まで上昇流が及ぶといえる。また、羊蹄山は孤立峰なので横方向の回り込みの効果により上昇流が低く抑えられたとも考えられる。図4・9より、上昇流の卓越する地域がわかる。

(4) 図4・10及び図4・11により、地域Bに西風が吹いた場合の上昇流発生の様子を3次元的に見ることができる。

(5) 図4・12と図4・9を見ると風向きの違いにより、上昇流発生地域が変わる様子がわかる。

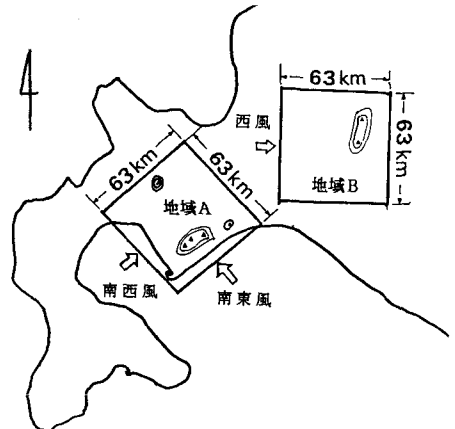


図4・1 対象地域地図

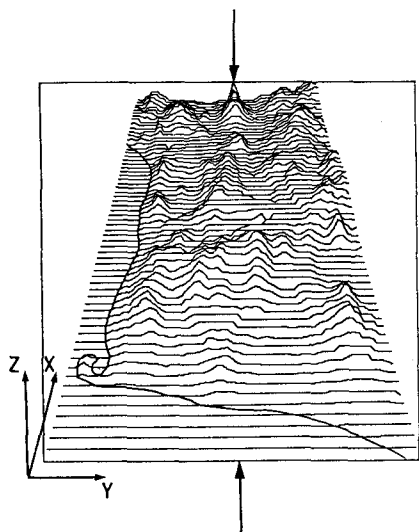


図4・2 地域Aの鳥瞰図
(南東から臨む、スペクトル除去せず)

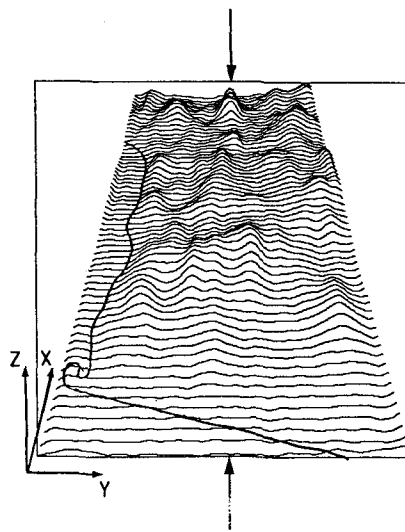


図4・3 地域Aの鳥瞰図
(南東から臨む、スペクトル12%以下除去)

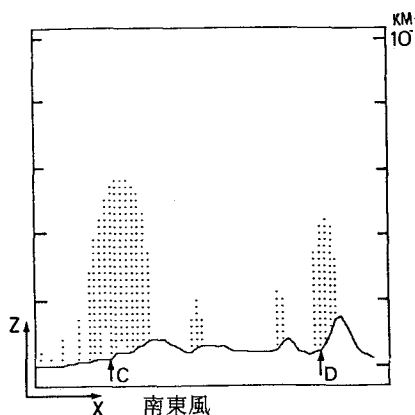


図4・4 2cm/sec以上の上昇流発生メッシュ点
(地域A, スペクトル除去せず, 矢印断面)

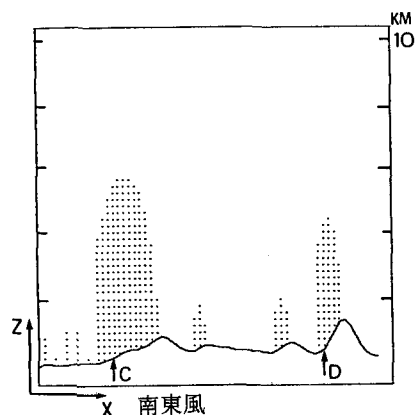


図4・5 2cm/sec以上の上昇流発生メッシュ点
(地域A, スペクトル12%以下除去, 矢印断面)

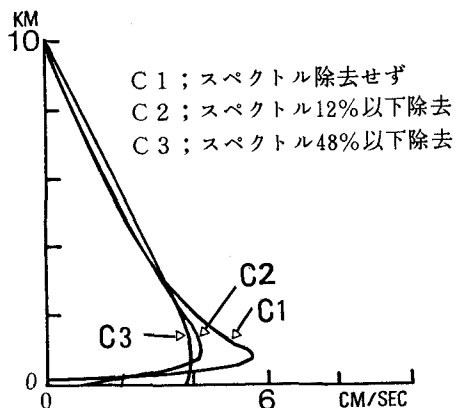


図4・6 C地点上空の上昇流の鉛直分布

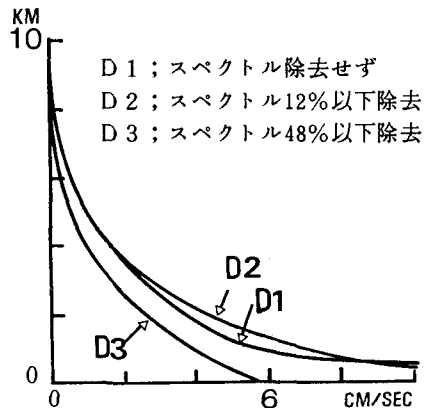


図4・7 D地点上空の上昇流の鉛直分布

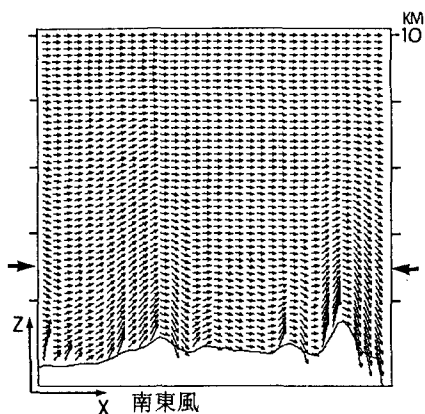


図 4・8 矢印断面での風速ベクトル図
(地域 A, スペクトル 12% 以下除去)

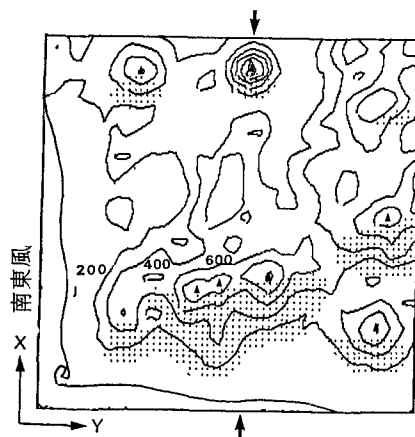


図 4・9 2cm/sec 以上の上昇流発生メッシュ点
(地域 A, スペクトル 12% 以下除去, 3000m 断面)

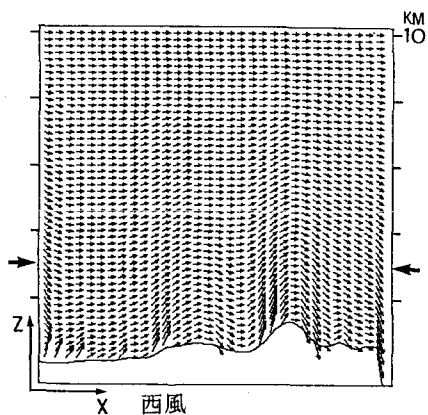


図 4・10 矢印断面での風速ベクトル図
(地域 B, スペクトル 12% 以下除去)

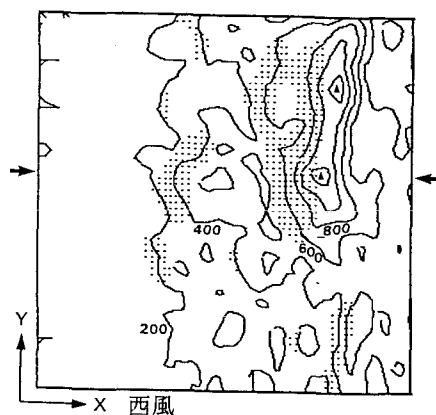


図 4・11 2cm/sec 以上の上昇流発生メッシュ点
(地域 B, スペクトル 12% 以下除去, 3000m 断面)

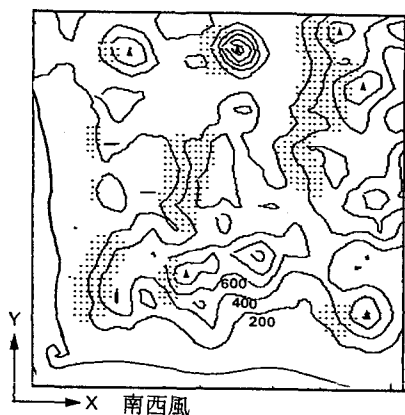


図 4・12 2cm/sec 以上の上昇流発生メッシュ点
(地域 A, スペクトル 12% 以下除去, 3000m 断面)
(南西風)

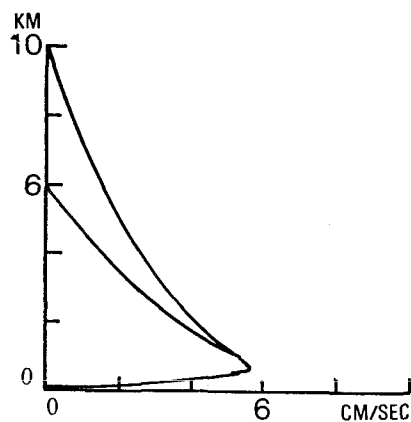


図 4・13 C 地点の上昇流の鉛直分布
(スペクトル 12% 以下除去)

4-4 ふたの高さについて

図4・13より、ふた（上昇流の値が0となる高さ）を6kmに設定すると10kmに設定した場合より上昇流の値は小さくすることがわかる。このように設定するふたの高さによって風の場が若干かわることから、実用的にはふたの設定高さは重要である。

4-5 降雨量モデルへの適用

本研究によって算出された地形及び風速のデータを文献(1),(4)に示す降水量モデルにインプットすると、図4・14、図4・15、図4・16のような降水量分布図が得られる。これらは飽和状態の風が時速10m/sで時間吹いた場合の降水量分布図である。ふたの高さは、10000mに設定した図である。



図4・14 降雨量分布図
(地域A, 南東風)
(スペクトル12%以下除去)

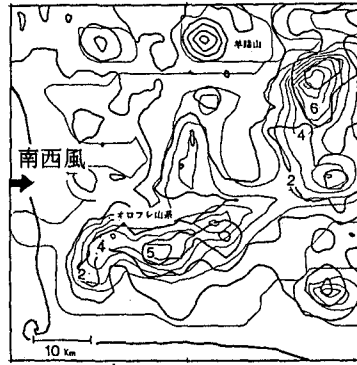


図4・15 降雨量分布図
(地域A, 南西風)
(スペクトル12%以下除去)

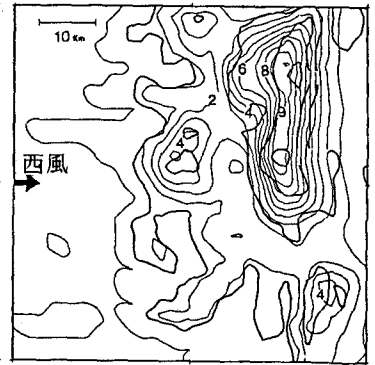


図4・16 降雨量分布図
(地域B, 西風)
(スペクトル12%以下除去)

5・結論

本研究で得られた主要な結論を以下に挙げて置く

- 1) 低振幅成分あるいは高周波成分（波長にして約5km以下）を削除しても1km程度より上空の風の場にはほとんど影響を与えない。
- 2) 低周波から構成される地形ほどより上空まで地形の影響が及ぶ。
- 3) 与える風向きによって上昇流の発生地域や強さは変わる。
- 4) 設定するふたの高さによって、発生する上昇流の大きさは異なる。同じ高さ断面を見るとふたを低く設定した方が上昇流は小さい値となる。
- 5) 山地地形の影響による上昇流は山頂近傍よりも山のふもとから中腹にかけての上空において大きな値をとる。

謝辞 本研究の一部は、文部省科学研究費重点領域研究（1）及び一般研究C（代表 山田 正）の援助を受けている。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山田 正・藤田 睦博・渡部 元「地形性降雨の数値実験に関する研究」
土木学会北海道支部 論文報告集 昭和61年度 PP.183-188
- 2) 山田 正・渡辺 英章「一般的な山地地形における風の場の解析」
土木学会北海道支部 論文報告集 昭和62年度 PP.287-292
- 3) 山田 正・渡辺 英章「山地地形における風の場の解析」
土木学会第43回年次学術講演会 講演概要集 PP.68-69, 1988.
- 4) 今野 好文・菊池 勝弘「北海道大学地球物理学研究報告」 PP.37-44 1981.
- 5) 山田 正・中津川 誠・内藤 修・水島 徹治「流域スケールの風の場と降雨のシミュレーション」
第33回水理講演会 論文集（投稿中），1989.