

II-32

地形の形状によって引き起こされるメソβスケールの風の場

中央大学 正会員○日比野忠史 山田 正
北海道開発局土木研究所 正会員 中津川誠

1 はじめに

数10km-数100kmの中規模スケールにおいては、慣性力が卓越してコリオリ力を無視できる。したがって入吹してくる風はほとんど地衡風として1次元的に考えることができるが、境界面から入ってくる風は、もともとコリオリ力の影響を受けているため、風系は2次元的である。また、この流れが、山地流域に流入してくると地形の起伏の影響で、上昇流を発生し、風の流れは3次元的に運動することになる。このような場では、大気の運動は、複雑で解析的な解を求めるのは困難である。本報告では、中規模なスケール（Meso-β scale）でのこのような流れをポテンシャル流として扱い、粘性境界を考慮した計算手法を用いて三次元的な風の場を準解析的に計算し、地形が風の場に及ぼす影響等について考察している。

2 山地流域における気流のモデリング

任意の速度ベクトルは勾配と回転の和で表すことができる。ここで提案するエクマン-ポテンシャルフローモデルは、流域内での流れはポテンシャルフローとして与えられ、すでにコリオリ力の影響を受けた流入する風ベクトルを渦度として与えている。すなわち、エクマン-ポテンシャルフローモデルは、地形まわりの流れを考えたポテンシャルフローモデルと上流境界から流入するエクマンスパイラルのような回転流れを組み合わせたモデルである。ここでは、定常でかつ、乱されていない大気を仮定してメソβスケールの風の場を計算した。表1にEkman-Potential flowモデルの基礎式を示している。座標系及びフローチャートは、図1と2に示したとおりである。Ekman-Potential flowモデルの妥当性は、ポテンシャルモデル、Kaoモデル及び MASCONモデルを用いて流域スケールの風の場で比較されている¹⁾。

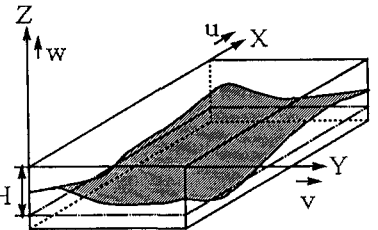


図1 座標系

3 山地流域での風の場における地形効果

著者らは、山地流域では地形の起伏がその流域での降雨特性に大きな影響を及ぼしていることを明らかにしてきた²⁾。山地流域に発生する上昇風は、地形性降雨の降水機構の重要な因子になっているという観点から、地形の起伏がこの流域の風の場にどのような影響を与えるかについて計算を行った。解析の対象とした地形は、北海道中央部に位置する標高1667mの夕張岳を含む山地流域である。この流域は、北から南にかけて1600m~1700mの縦断しており、夕張岳をはさんで西と東に分断された地形である。計算範囲は、32km×32kmの正方形の流域を対象としており、高さ方向へは200mのメッシュ間隔で計算高度は10kmとした。図3(a), (b)には、高度1000m及び3000m面での鉛直方向への風速が地衡風の2%以上となる領域をドットで示している。図4は夕張岳を越える風をxz平面で見た図である。実在の複雑な地形においても地形の特性をとらえた風の場が計算されており、地衡風が西側から吹くと南北に連

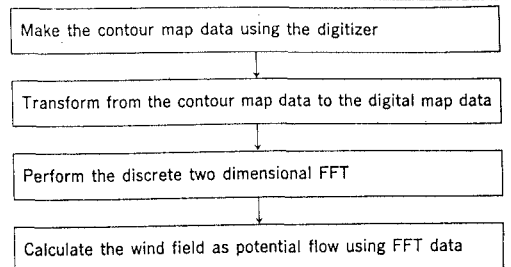


図2 計算のフローチャート

表1 Ekman-Potential flowモデルの基礎方程式

Three-dimensional Laplace equation	Solution of windspeed
$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0$	$u = u_E + \frac{u_E k^2 + v_E k l \cosh(\beta z)}{\beta \sinh(\beta h)} f(m, n)$
Main flow	$v = v_E + \frac{u_E k l + v_E l^2 \cosh(\beta z)}{\beta \sinh(\beta h)} f(m, n)$
$U_E = U_E \cdot (1 - \exp(-z/\delta_E) \cos(z/\delta_E)) + k \times U_E \exp(-z/\delta_E) \sin(z/\delta_E)$	$w = w_E - i(u_E k + v_E l) \frac{\sinh(\beta z)}{\sinh(\beta h)} f(m, n)$
$U_E = (u_E, v_E, w_E)$	$f(m, n) = \frac{1}{N^2} \sum_{p=0}^N \sum_{q=0}^N F(p, q) \exp(i(m p + n q) \frac{2\pi}{N})$
Topographic function	where
$\eta = -h + a \exp(ikx + i ly)$	u, v, w : Windspeeds in x, y and z directions (m/sec)
Boundary condition	U_E : Windspeed in Ekman boundary layer (m/sec)
$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$ at $z = 0$	U_G : Windspeed of geostrophic wind (m/sec)
$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = u_E \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_E \frac{\partial \eta}{\partial y}$ at $z = -h$	h : Averaged altitude of the ground surface (m)
	k, l : Horizontal wave number ($\beta = \sqrt{k^2 + l^2}$)
	N : Number of FFT terms
	$F(p, q)$: FFT component

なる夕張岳が風の場の支配的要因になっていることがわかる。また、エクマンパイラルがよく表現されており、高度が1000m付近では、山の肩部（地衡風向から見ると山の右側）に強い上昇風が計算されている。この現象は降雨レーダによっても観測されており、地形性降雨が、この付近から発達し、風下方向へ移流していく様子を見ることができる。

4 地形の影響

地形の風の場に対する影響を夕張地域のFFTデータの高周波成分を取り除くことによって考える。図5(a), (b)はFFT成分の10番目の周波数よりも高周波数(スケールの1割以下:実地形を5km以下のFFT成分を取り除くことに相当)を取り除いた風の場の計算を示している。小さい地形の起伏を取り除いたため、地表面付近で風速が大きく計算され、風向も滑らかになっている。また、強い上昇風が吹く地域が連続的に存在しているが、高度が高くなるにつれて高周波成分を取り除いて計算しても風の場に対する影響は減衰していく。

5 まとめ 流域スケールでの風の場を計算するモデルとしてEkman-Potential flowモデルを提案し風の場の特性について述べてきたが、これらをまとめる

と以下ようになる。

1)降雨レーダ等によって観測される、地形性降雨が山の肩部付近から発達し、風下方向へ移流していく現象をこのモデルを用いて再現することができる。2)FFTの高周波成分を取り除いて計算すると標高の低い地点で風速が若干大きく、かつ滑らかに計算されるが、標高が高くなるにつれ、この影響は、小さくなる。

<参考文献>1)T.Hibino,T.Yamada,M.Nakatsugawa, "WIND FIELD IN MESO- β SCALE CAUSED BY OROGRAPHIC EFFECTS", IAHR,1993. 2)日比野忠史,山田正,荒木隆,森永博史, "山地流域における降雨特性(夕張岳を例として)", 第20回土木学会関東支部,1993, pp.148-149 3)Tateya,K., Nakatsugawa,M. and Yamada,T.,1989, "Investigation of Rainfall by Field Observations and A Physically Based Model", Pacific International Seminar on Water Resources Systems, Tomamu, pp.385-403.

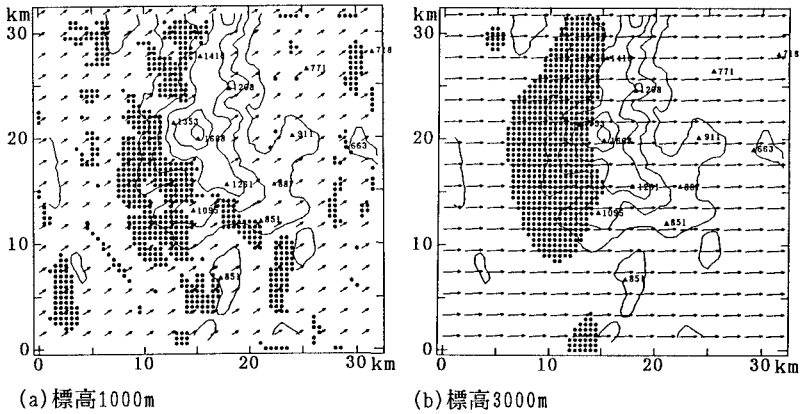


図3 地衡風(西風)の2%以上の強さの上昇風が吹く地域

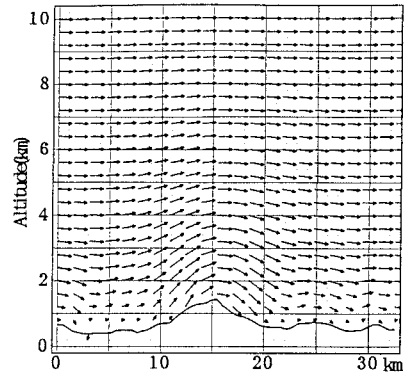


図4 夕張岳を越える風ベクトル (鉛直方向×8)

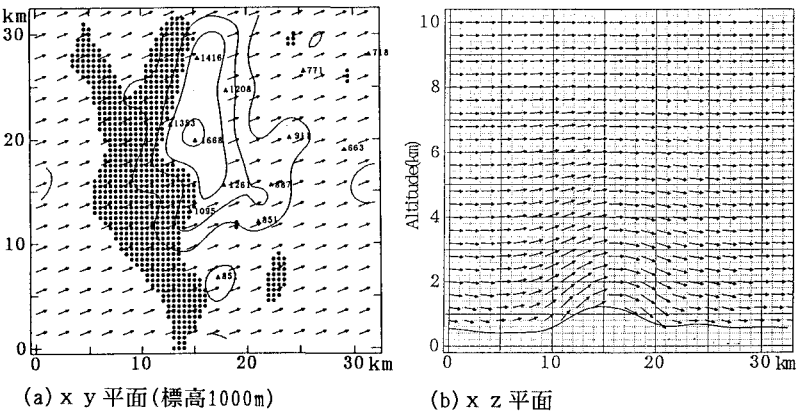


図5 高周波成分を取り除いて計算した風ベクトル