

局地循環*

木村富士男*

1. はじめに

メソ循環はまず地形によって引き起こされる循環と自由大気中に発生する循環とに大別される(1)。本手引きでは前者の、地形の影響を強く受けたメソスケールの風系と、それに密接に関係のある気象現象(例えば気温や雲)を扱っている文献を80年代を中心に紹介する。前者はさらに力学的に強制されて起こる循環と、熱的に発生する循環に分類される。現実の風系が全て明確にどちらかに分類されるわけではないが、本手引きでも一応この分類に従って記述を進める。

この分野をはじめて学ぶ人は、まず全体を見渡せる「教科書」的な単行本を読むのが近道である。しかしこの分野では、誰にでも勧められる初等的な教科書はそれほど多くは刊行されなかった。

今の所、最も標準的な教科書は1であろう。メソスケールの気象現象が網羅的に記述されている。現象の分類、観測事実、理論から数値実験まで記載されている。しかし理論に関する記述は断片的であり、力学的な理論について体系的に学びたい人には不満が残ると思う。

2は地形性の局地循環の数値モデルに関する単行本である。数値モデルの構築に必要な、基本式や数値解法はもちろん、放射伝達や接地層などのパラメタリゼーションについても、物理的な考察を含めて詳しく記述されている。モデルの基本式に使われる静力学近似の精度に関する考察や海陸風の線形論などの力学理論にも多くのページが割かれている。モデリングには直接関心のない人にも1との併読を勧めたい。

3は山岳波や山越え気流などに関する米国の論文集である。局地循環の中でも、山岳波関連の分野は力学理論がよく発達している領域であり、これらを学ぶには便利な本である。しかし必ずしも導入的な本とは言えない。

4はメソ循環に関する論文集であるが、局地循環に関する記述はあまり多くない。

最近、アメリカ気象学会から複雑地形上の気象に関するレビュー集(5)が刊行された。各レビューには最新

の論文が数多く引用されている。著者の個性の強く出ているレビューが多いので、興味深い内容ではあるが、必ずしも導入的ではない。

80年代の和文の解説書はさらに少ない。気象研究ノート(6)が挙げられるが、このシリーズでは70年代にも関連する解説(7, 8)が刊行されているので、ぜひ併せて読んでほしい。また以前からよく読まれている吉野の「小気候」の新版(9)も刊行されている。新版では、わが国各地の局地循環の観測例と解説がさらに豊富なものとなっている。実態を知るための必読の書であろう。また周辺分野の解説書ではあるが、10, 11には海陸風やヒートアイランド循環について詳しい記述がある。

2. 熱的局地風

2.1 海陸風

海陸の表面温度差によって引き起こされる熱的な局地風が海陸風である。エネルギー源は地面や海面からの顕熱であり、熱の鉛直拡散が現象を引き起こす重要なプロセスである。

海陸風の最も基本的な理論は、線形論であろう(2, 12, 13, 14)。地表面温度の日較差が小さいときに線形論が成り立つ。12のスケールアナリシスによれば、現実的な拡散係数を与えたとき、線形論の成り立つ地上気温の日較差はわずか1 K程度であり、日較差がこれより大きいと非線形移流項が効いてくる。しかし非線形効果が大きいと思われる現実の海陸風であっても、その様々な性質の中で線形論で説明できるものも少なくない。また、数値モデルの検証や、静力学平衡近似の限界、(2)、海陸風の理論的空間スケールの議論(12, 13)などではよく利用されている。

線形論に対し数値モデルでは現実の海陸風により近い場が得られる。非線形移流項や乱流境界層のパラメタリゼーションを使った熱・運動量輸送が扱え、混合層の日変化や海風前線の再現も可能である。

数値モデルの基本は、70年代にはほぼ完成しているので、80年代は発展的・応用的な研究が目だつ。数値モデル全般に関して2が参考になる。

* Local circulation.

** Fujio Kimura, 東北大学理学部.

国内では、14は線形モデルと合わせた計算を行い、海陸風の基本構造について調べている。また海陸風による汚染質の輸送に関するシミュレーションや解析も行われている(15, 16)。都市気候との関係を扱った研究もある(17, 18)。

わが国では純粋な海陸風が発達するほど広い平野は少ないが、大気汚染上の関心もあって相模湾周辺の高陸風が良く研究されている(19, 20)。また陸の起伏の効果、つまり山谷風との複合を扱った論文が多い(21)。特に関東平野では大規模海風と呼ばれる関東平野全体を覆う風系が知られており(22)、これに関係する研究は活発であった。まず23は3次元の現実的な地形を入れた数値モデルで、関東平野を覆う風系の形成には関東周辺の山岳の効果が大きいことを示した。24は、関東地方で排出された汚染質が碓氷峠を越えて長野県まで輸送されることを、汚染濃度の解析などから明らかにし、その運び手の一つが大規模海風であるとしている。彼らは大規模海風は海風が重力流化(25)により内陸深く侵入すること、昼夜平均をしても残る海陸の温度差による Forcing のためとしている。また中部山岳にできる熱的低気圧に吹き込む大規模海風よりさらに規模の大きい風系があり、これにより汚染は長野県まで輸送されるとしている。熱的低気圧に関しての最近の論文として26がある。

大規模海風の最近の研究として27による数値モデルによる仕事が挙げられる。関東地方を北と西にある山岳地帯に挟まれた大規模な谷と見ると、大規模海風は一種の谷風と見なせることを提案している。この考え方は後に山谷風のところで述べる TAF による谷風の説明と共通するものである。

2.2 植生風

植生風とは、例えば砂漠のような乾燥地と森林のような植生地が接しているとき、両者の地表熱収支が異なるために発達する熱的局地風のことであり、植生地の熱収支は植物活動による蒸散過程により左右されている。従って植生風のモデリングには植生キャノピーモデル、とくにそれには植物の生理的活動による水収支のパラメタリゼーションが含まれる。

数値モデルを使った研究が主として米国で数多く(28)行われている。これは砂漠化問題が背景にあるとともに、全球の気候モデルに組み込むための植生パラメタリゼーションの研究が盛んに行われ、この応用問題としての手近な材料になっているためであろう。これらの論文によると、モデルにより計算される植生風は決して弱いものではなく、海陸風と同程度の風速と鉛直規模を持ってい

る。しかしいまのところ観測的な研究は少ない。

29は、植生域の水平規模と擾乱への影響力の関係を調べている。これによると、乾燥地帯において植生域が水平規模 50~100 km で存在するとき、最も効率的に対流性の降水が増強される。比較的小規模な森林伐採による気候変化の予測の試みも行われている(30)。

2.3 都市風

都市の風も二つに分けて考えることができる。ヒートアイランドに伴う循環、すなわち熱的循環と、建造物などが障害物として一般風に影響を与えることによる風系、すなわち力学的循環である。都市のヒートアイランドおよび、風系・降水系への影響については、10や11、あるいは9に解説がある。また数値モデルのレビューとして31がある。

首都圏のヒートアイランド循環の実態については10や32に詳しい。それらによると、ヒートアイランド循環の風速は海陸風に比べて一桁くらい小さい。

ヒートアイランド循環は原理的には海陸風や植生風と同じく地表顕熱フラックスの地域差により引き起こされる局地風である。33, 34の線形論を中心とした理論は良く知られている。

ヒートアイランドそのものの生成メカニズムには様々な要因が考えられている。なかでも都市では蒸発が少なく、その分太陽熱が顕熱に変換される率が高いことが最も大きいとされ、ついで、人間活動による排熱の効果が大きいとされている。特に後者は夜間に顕著となる。32によると、週日は休日より都市へ風の収束がわずかに強いことが示されている。この差は前者では起こりにくく、後者の人間活動によるものと考えられる。

海風の侵入と都市の関係を扱った研究もある。海風は都市の摩擦と熱の両方の影響をうけ、例えば海風前線の進行速度に違いが表れる(17, 18)。数値モデルにおいては、いままで粗度定数や蒸発効率で地表状態が表現されてきたが、より複雑な力学効果や放射過程の影響を評価するため、都市キャノピーモデルの必要性が指摘されている(31)。都市キャノピーモデルは、森林で行われている大気との相互作用のパラメタリゼーションとのアナロジーで、都市と大気の複雑な相互作用(建造物の風に対する抵抗、顕・潜熱輸送、放射伝達など)を扱おうという考え方である。35は主として建造物の平均風に及ぼす摩擦効果にキャノピーモデルの考え方を適用している。最近の現実的な都市の数値モデルは、36や18があり、積雲との関係は37により扱われている。

2.4 斜面風・山谷風・冷気流

斜面が熱せられたり冷却されるために引き起こされる風系が斜面風や山谷風である。現実の地形はフラクタルのように様々な規模の起伏が混在している。そのためそこに吹く熱的局地風は複雑なものとなる。

この領域ではまず38, 39のレビューが挙げられる。前者には TAF (Topographic amplification factor: 地形性増幅係数) の紹介が詳しくされている。簡単にいえば, TAF は谷幅と深さの積を谷内部の容積で割った量に相当する。気温, 気圧の日較差はほぼこれに比例するとされ, これから谷筋に沿った熱的局地風(山谷風)の解析ができる。例えばこれにより, 通常とは逆向きに谷を下る「谷風」の説明も可能であるし, また現実にもそのような風系は存在する。1930年代に考えだされた量で, 80年代に再評価された。後者(39)には, 谷の断面に平行な循環を中心とした局地循環の simple モデルが紹介されている。

1979年から84年にかけて, ASCOT 計画という一連の斜面風の観測がおこなわれた。この成果は40に特集されている。これに関連して, 斜面風と大気乱流の関係, 現実の斜面風のシミュレーションなどの研究が行われた。これらの研究では乱流過程を組み入れたいくつかの冷気流の数値モデルが提案されている。冷気流のモデルは他に41や42がある。80年代には, わが国でも冷気流の観測が多く行われている。9に紹介されているほか43がある。また盆地の夜間冷却に関する研究として44, 45がある。

冷気流/山風とは対照的に, 谷風/斜面上昇流の観測・理論・モデリングの研究は少ない。27, 43が関連する研究である。46は斜面上昇風の一層モデルを提案しており, 斜面の顕熱輸送量や, 斜度, 吹走距離などと風速・厚さの関係を求めている。また, 47は斜面上昇風のラージ・エディ・シミュレーションの論文である。48では台地と平地の間にも, 斜面風とは別の熱的局地風(平地-台地風)が吹くとしている。

3. 力学的局地風

3.1 山岳波・降ろし風

山岳波(風下波を含む)に関しては, 力学理論が発達している。線形論をはじめとするこれらの理論について, 49のレビューがある。線形論がよく成功している分野であり, 80年代には, 孤立峰のまわりの3次元山岳波も得られている(50)。しかし, 最近ではむしろ非線形山岳波理論に関する論文が主流である。これは, おろし風など風下強風のメカニズムの解明のためであるとも

に, 山岳波は運動量の鉛直輸送を通じて大循環など大規模な気流にも重大な影響を与えている(51)との認識が強まったためであろう。

52は非線形山岳波の重要論文の一つと考えられる。弱い非線形の2次元山岳波を扱い, フルード数が1程度のある一定値より小さくなると, 非線形性が目だちはじめ, 流線が垂直に立つ Breaking という現象が発生するとしている。ここでフルード数 Fr は

$$Fr = \text{風速} / (\text{プラント} \cdot \text{バイサラ振動数} \times \text{山の高さ})$$

である。 Fr が小さいほど, 山が高い/風速が弱い/安定成層が強いことになる。

非線形山岳波の理論を学ぶには, 古典であるが Long の方程式(53)はぜひとも知らねばならないであろう。一見すると線形にみえるこの方程式は, 数値解モデルの発達した今日でもその重要性は薄れていない。

風下強風やフェーンに関連した強い非線形山岳波に関する論文は多く発表された(54, 55)。なかでも一般風のシアーと関係したクリティカル・レベルと内部波の非線形相互作用に関する研究は多い。一般場に初めからクリティカル・レベルの存在するとき(56, 57, 58)のほか, 非線形山岳波自身がクリティカル・レベルに相当するものを作り出すという理論もある(55, 59, 60, 61)。

また非線形山岳波に関しては, 水槽実験をはじめとする室内実験も有効な研究手段である。レビューとして62がある。

3.2 迂回流と風下渦

孤立峰のように地形が3次元的で, フルード数が小さいと, 流れは山を越えずに迂回するか山の風上に淀む。この問題は起伏のある地形上での汚染質の大気拡散に重大な影響を及ぼすため, 観測や実験が盛んに行われている。大規模な観測計画は先にも述べた米国エネルギー庁(DOE)のASCOT計画と, 米国環境保護庁(EPA)のCTMD(複雑地形モデル開発計画)が挙げられる。CTMDはEPAの採用している複雑地形上の拡散モデルの検証のためと, 起伏の激しい地域でも工場の煙突のような点状発生源による地上濃度を計算できる新しい拡散モデルの開発のために実施された。そこで開発されたCTDM(複雑地形拡散モデル)は, できるかぎり数値解によらず濃度分布を計算できることを, モデル開発の基本原則としているのが特徴である(63)。このモデルでは, 流れ(正確には流線を軸とする汚染ブルーム)が山にあたったとき, 山の上を越えるか, あるいは迂回するかを Fr に相当するパラメータにより判定し, それぞ

れ別々の大気拡散モデルを適用する (64, 65).

冬の寒気の吹きだしなどで、島の風下に逆向きの渦が互い違いに発生することが衛星写真でしばしば観測される。実験室内で長い円柱の後流にできるカルマン渦と似ているので、同じ名で呼ばれることが多い。これについては1でも触れられているほか、66, 67が手引きとしても利用できる。またわが国でも68があり、また最近の気象学会の予稿集にも研究報告が多数存在する。数値モデルは少ないが69がある。

カルマン渦ではないが、山の風下にできる渦に関しては80年代の最後にかなり話題性のある論文70が発表された。非粘性非圧縮・成層流体の数値モデルによって、山の表面に摩擦がなくても渦は作られることが明らかとなった。山によって励起される非線形内部波が重要な働きをしている。

初期値としてポテンシャル渦度がいたるところ0の条件でも、山の付近では渦度ベクトルでみて等温位面に平行な渦ができる。非線形山岳波の性質により山の後流では等温位面が急傾斜となる。それに伴って渦度ベクトルも立ち上がり、渦度ベクトルの鉛直成分が大きくなる。いいかえれば等温位面上の循環は0になったまま、水平面上の循環が大きくなる。これが非粘性流体の風下渦である。この論文に関しては、R.B. Smith のコメント(71)とその回答(72)が発表されているが、コメントは筆者も含め、多くの読者が持つと思える疑問を的確に代弁してくれている。併せて読むと面白い。

関東地方の南東部に、夜間に強まる南西風の低層ジェットが吹くことが調べられている(73)。この成因は中部山岳を南西の一般風が迂回するときに風速が強化されることが重要であるが、それに加えて、中部山岳の熱的效果による増強と日変化の付加があることが数値実験から明らかにされた(74)。つまり熱的・力学的効果の複合した局地風である。関東地方では北西風時にも下層ジェットがあることが示されている。やはり山岳による迂回効果であると推察されている(75)。

南西風のジェットが吹くのと同時頃、関東平野北西部から中央部にかけて、100 km 規模の渦がときどき観測できる(76)。この渦も一般風と中部山岳の力学的・熱的作用により発生することが分かっている(77)。同じような地形性の渦はメルボルン周辺でも確認されていて、ほぼ同じメカニズムであることが知られている(78)。しかし関東地方の渦は熱的要因が、メルボルンの渦は力学的要素がやや強いとされている。このほか米国のデンバー(79)やサンタ・バーバラ(80)でも同様な

渦が確認されている。

4. 終りに

80年代を振り返ると、この分野は目ざましい発展をしたとはいいい難いのではないか。70年代に続き、局地的な大気汚染との係わりで動機づけられているものが多い。しかし、山越え気流の問題では非線形性をま正面から扱おうとした理論がかなり出てきた。90年代の計算機の能力を考えると、地形の力学的影響についてはかなりの進歩が期待できる。観測による実証がそれに追いついて行けるかどうかが問題である。

熱的循環では線形論を除くと現象論的な論文が多く、理論体系の構築は遅れているように思える。また、今後は都市気象や植生の影響など環境問題に関連した論文が多くなるのではないかと思う。これらに関する90年代の進歩は、リモートセンシングの活用にかかっているようにも思われる。

文 献

- 1) Atkinson, B.W. 1981: Meso-scale Atmospheric Circulations., Academic Press, 465 pp.
- 2) Pielke, R.A. 1984: Mesoscale Meteorological Modeling, Academic Press, 612 pp.
- 3) GARP Publication No 23, WMO/ISCU; 1980, Orographic effects in planetary flow.
- 4) Lilly, D.K and T. Gal-Chen (ed.) 1983: Mesoscale-Meteorology-Theories, Observations and Models., D. Reidel Publishing Company, 781 pp.
- 5) Blumen, W. (ed.) 1990: Atmospheric Processes over Complex Terrain. Meteor. Monogr., 23, Amer. Meteor. Soc., 323 pp.
- 6) 「局地循環」気象研究ノート, 163, 1988, 151 pp.
- 7) 「J. П. ГYТМАН によるメゾ気象学的過程の非線形理論序説」気象研究ノート, 108, 1971, 149 pp.
- 8) 「海陸風と山越え気流」, 気象研究ノート, 125, 1975, 244 pp.
- 9) 吉野正敏, 1986: 「新版 小気候」地人書館, 298 pp.
- 10) 河村 武編, 1979: 「都市の大気環境」大気環境の科学, 3, 東京大学出版会, 185 pp.
- 11) 原田 朗, 1982: 「大気汚染と気候の変化」—人間社会と気候の変化—気象学のプロムナード, 11, 東京堂出版, 223 pp.
- 12) Niino, H., 1987: The linear theory of land and sea breeze circulation. J. Meteor. Soc. Japan, 65, 9^o1-920.
- 13) Dalu G.A. and R.A. Pielke, 1989: An analy-

- tical study of the sea breeze, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1815-1825.
- 14) Kimura, R. and T. Eguchi, 1978: On dynamical processes of sea- and land-breeze circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **55**, 32-51.
- 15) Kimura, F., 1983: A numerical simulation of local winds and photochemical air pollution (I): Two dimensional land and sea breeze. *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 862-878.
- 16) Fujibe, F., 1985: Air pollution in the surface layer accompanying a local front at the onset of the land breeze. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 226-237.
- 17) 吉門 洋, 1990: 海岸の都市が海風と汚染質拡散に与える影響の数値実験. *天気*, **37**, 681-688
- 18) Kimura, F. and S. Takahashi, 1991: The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo Metropolitan area: A numerical experiment, *Atmos. Environ.*, **25 B**, 155-164.
- 19) Onishi, S. and S. Bando, 1988: Winter land and sea breezes in the Sagami Plain: 2. Three-dimensional model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 55-63.
- 20) Fujibe, F. and T. Asai, 1984: A detailed analysis of the land and sea breeze in the Sagami Bay area in summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 534-551.
- 21) Ookouchi, Y. and Y. Wakata, 1984: Numerical simulation for the topographical effect on the sea-land breeze on the Kyushu Island. *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 864-879.
- 22) 藤部文昭・浅井富雄, 1979: 関東地方における局地風に関する研究, 第一部: 日変化を伴う風系の構造. *天気*, **26**, 595-604.
- 23) Kikuchi, Y., S. Arakawa, F. Kimura, K. Shirasaki and Y. Nagano, 1981: Numerical study on the effects of mountains on the land and sea breeze circulation in the Kanto District. *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 723-738.
- 24) Kurita, H. 1990: Combination of local wind system under light gradient wind conditions and its contribution to the long-range transport of air pollution. *J. Appl. Meteor.*, **29**, 331-348.
- 25) Simpson, J.E., D.A. Mansfield and J.R. Milford, 1977: Inland penetration of sea-breeze fronts. *Quart. J. Roy. Meteor.*, **103**, 47-76.
- 26) Kuwagata, T. and M. Sumioka, 1991: The daytime PBL heating process over complex terrain in central Japan under fair and calm weather conditions, Part III: Daytime thermal low and nocturnal thermal high. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 91-104.
- 27) Kondo, H., 1991: A numerical experiment of the "ex-tended sea breeze" over the Kanto Plain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 419-434.
- 28) Segal, M., R. Avissar, M.C. McDumber and R.A. Pielke, 1988: Evaluation of vegetation effects on the generation and modification of mesoscale circulations. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 2268-2292.
- 29) Anthes, R.A., 1984: Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative covering in semiarid regions. *J. Clim. Appl. Meteor.*, **23**, 541-554.
- 30) Gross, G., 1988: A numerical estimation of the deforestation effects on local climate in the area of the Frankfurt International Airport. *Beitr. Phys. Atmos.*, **61**, 219-231.
- 31) Bornstein, R.D. 1986: Urban climate models; Nature, limitation and application, "Urban climatology and its application with special regard to tropical areas", WMO, **652**, 237-276.
- 32) Fujibe, F., 1988: Weekday-weekend differences of urban climates, Part 3: Temperature and wind fields around Tokyo and Osaka. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 377-385.
- 33) Kimura, R., 1976: Effects of general flow on a heat island convection, Part I: Linear theory for the uniform flow. *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 303-320.
- 34) Kimura, R. 1975: Dynamics of steady convections over heat and cool island. *J. Meteor. Soc. Japan*, **53**, 440-457.
- 35) Uno, I. and H. Ueda and S. Wakamatu, 1989: Numerical modeling of the nocturnal urban boundary layer. *Boundary-Layer Meteor.*, **49**, 77-98.
- 36) Seaman, N.L., F.L. Ludwig, E.G. Donall, T. T. Warner and C.M. Bhumralkar, 1989: Numerical studies of urban planetary boundary-layer structure under realistic synoptic conditions. *J. Appl. Meteor.*, **28**, 760-781.
- 37) Hjelmfelt, M.R. 1982: Numerical simulation of the effects of St. Louis on mesoscale boundary-layer airflow and vertical air motion: Simulations of urban vs. non-urban effects. *J. Appl. Meteor.*, **21**, 1239-1257.
- 38) Whiteman, C.D., 1990: Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain; "Atmospheric processes over complex terrain", *Meteor. Monogr.*, **23**, Chap. 2, Blumen, W. (Ed.), Amer. Meteor. Soc., pp 5-42.
- 39) Egger, J. 1990: Thermally forced flows: Theory.; "Atmospheric processes over complex terrain" *Meteor. Monogr.*, **23**, Chap. 3, Blumen, W. (Ed.). Amer. Meteor. Soc., pp 43-58.

- 40) J. Appl. Meteor., 1989. pp 405-689.
- 41) Manins, P.C. and B.L. Sawford, 1979: A model of katabatic winds. *J. Atmos. Sci.*, **36**, 619-630.
- 42) Kondo, J. and T. Sato, 1988: A simple model of drainage flow on a slope. *Boundary-Layer Meteor.*, **43**, 103-123.
- 43) Kondo, J., T. Kuwagata and S. Haginoya, 1989: Heat budget analysis on nocturnal cooling and daytime heating in a basin. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 2917-2933.
- 44) Kondo, H., 1986: A numerical experiment about the cooling in a basin. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 563-574.
- 45) Maki, M. and T. Harimaya, 1988: The effect of advection and accumulation of downslope cold air on nocturnal cooling in basins. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 581-597.
- 46) Kuwagata, T. and J. Kondo, 1989: Observation and modeling of thermally induced upslope flow. *Boundary-Layer Meteor.*, **49**, 265-293.
- 47) Shumann, U., 1990: Large-eddy simulation of the up-slope boundary layer, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **116**, 637-670.
- 48) Mannouji, N. 1982: A numerical experiment on the mountain and valley winds, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1086-1106.
- 49) Smith, R.B., 1979: The influence of mountains on the atmosphere, *Adv. Geophys.*, **21**, 86-230.
- 50) Smith, R.B. 1988: Linear theory of stratified flow past an isolated mountain in isosteric coordinates. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 3889-3896.
- 51) McFarlen, N.A. 1987: The effect of orographically excited gravity wave drag on the general circulation of the lower stratosphere and troposphere, *J. Atmo. Sci.*, **44**, 1775-1800.
- 52) Lilly, D. and Klemp, J.B. 1979: The effects of terrain shape on non-linear hydrostatic mountain waves. *J. Fluid. Mech.*, **95**, 241-261.
- 53) Long, R.R., 1953: Some aspects of the flow of stratified fluids, I: A theoretical investigation. *Tellus*, **5**, 42-58.
- 54) Hoinkia, K.P., 1985: Observation of the airflow over the Alps during a foehn event. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 199-224.
- 55) Baines, P.G. 1987: Upstream blocking and air flow over mountains. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **19**, 75-97.
- 56) Tomine, K., 1984: A numerical study on local depressions in the gravity wave regime. *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 215-223.
- 57) Clark, T., and W.R. Pelter, 1984: Critical level reflection and the resonant growth of nonlinear mountain waves. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 3122-3134.
- 58) Tomine, K., 1987: A supplementary study of simulations of mountain wave critical level interaction. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 145-149.
- 59) Durran, D.R., 1986: Another look at downslope windstorms. Part 1: The development of analogs to supercritical flow in an infinitely deep, continuously stratified fluid. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 2527-2543.
- 60) Durran, D.R. and J.B. Klemp, 1987: Another look at downslope windstorms. Part 2: Non-linear amplification beneath wave-overturning layers. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 3402-3412.
- 61) Ikawa, M., 1990: High-drag states and Foehn of a two-layered stratified fluid past a two-dimensional mountain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 163-182.
- 62) Baines, P.G. and P.A. Davis, 1980: Laboratory studies of topographic effects in rotating and/or stratified fluids, 'Orographic effects in planetary flows', Chapt. 8, GARP Publication No. 23, WMO/ISCU, 233-299.
- 63) Hanna, S.R. and D.G. Strimaitis, 1990: Rugged terrain effects on diffusion; "Atmospheric processes over complex terrain", "Meteorology Monographs", 23, Chapt 6, Blumen, W.(Ed.), Amer. Meteor. Soc., 109-143.
- 64) Snyder, W.H., Thompson, R.S., Eskridge, R. E., Lawson, R.E., Castro, I.P., Lee, J.T., Hunt, J.C.R. and Ogura, Y. 1985: The structures of strong stratified flow over hills: Dividing-streamline concept. *J. Fluid Mech.* **152**, 249-288.
- 65) Charuthers, D.J. and J.C.R. Hunt, 1990: Fluid mechanics of airflow over hills: Turbulence, fluxes and waves in the boundary layer. "Atmospheric processes over complex terrain" Chap. 5, Meteor. Monogr., 23, Blumen, W. (ed.), Amer. Meteor. Soc., 83-107.
- 66) Etling, D., 1989: On atmospheric vortex streets in the wake of large islands. *Meteor. Atmos. Phys.*, **41**, 157-164.
- 67) Etling, D., 1990: Mesoscale vortex shedding from large islands: A comparison with laboratory experiments of rotating stratified flows. *Meteor. Atmos. Phys.*, **43**, 145-151.
- 68) 木村竜治, 1988: 濟州島の風下にカルマン渦が発生する過程. *ながれ*, **7**, 1-2.
- 69) Ruscher, P.H. and J.W. Deardorff, 1982: A numerical simulation of an atmospheric vortex street, *Tellus*, **34**, 555-566.
- 70) Smolarzewicz, P.K. and R. Rotunno, 1989:

- Low Froude number flow past three dimensional obstacles. Part I: Baroclinically generated lee vortices. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1154-1164.
- 71) Smith, R.B., 1989: Comment on "Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part I: Baroclinically generated lee vortices" *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3611-3617.
- 72) Smolarkewicz, P.K. and R. Rotunno, 1989: Reply. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3614-3617.
- 73) Harada, A., 1981: An analytical study of nocturnal low-level jet over the Kanto Plains. *Pap. Meteor. Geophys.*, **32**, 233-245.
- 74) Kimura, F. and S. Arakawa, 1983: A numerical experiment on the nocturnal low level jet over the Kanto Plain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 848-861.
- 75) 原田 朗, 1984: 関東地方の下層風極大について. *天気*, **31**, 679-686.
- 76) Harada, A., 1981: An analysis of the nocturnal cyclonic vortex in the Kanto Plain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 602-610.
- 77) Kimura, F. 1986: Formation mechanism of the nocturnal mesoscale vortex in Kanto Plain. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 857-870.
- 78) McGregor, J. and F. Kimura 1989: Numerical simulation of mesoscale eddies over Melbourne. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 50-66.
- 79) Wilczak, J.M. and J.W. Glendening, 1988: Observation and mixed-layer modeling of a terrain-induced mesoscale gyre: The Denver cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 2697-2711.
- 80) Kessler, R.C. and S.G. Douglas, 1991: A numerical study of mesoscale eddy development over the Santa Barbara Channel. *J. Appl. Meteor.*, **30**, 633-651.



Gary Lockhart, グループW訳
「お天気となかよくなれる本
—世界気象博物誌—」

丸善社, B 6 版, 125頁, 1,380円

本書の原題はTHE WEATHER COMPANION—An Album of Meteorological History, Science, Legend and Folklore—である。これからも分かるように、気象に関する科学的・歴史的あるいは民俗的な話題を集めた本である。著者はまえがきにおいて、『今は気象衛星やスーパーコンピュータの時代だ。……予報の精度も良くなった。しかし、……天気予報を知るだけでいいのだろうか。自然界の日々の移り変わりに心を配ることは、生活にうるおいをもたらし、心をなごませてくれる。空は時々刻々変化して、同じ夕日は二度と見られない。先人たちの積み重ねてきた経験や知識に触れると、自然の不思議が見えてくる。……生活体験から得られた天気についてのさまざまなことを、民俗気象学としてまとめてみた。』と述べている。民俗気象学という言葉があるのかどうか評者は知らないが、内容的には「気象歳時記」あ

るいは「天気俚語集」にあたる。

目次を示すと、お天気学の歴史・お天気を探る器械・お天気のいろいろ・気象警報・動物と天気・植物と天気・あなたと私とお天気と、となっている。多くの話題が含まれているが、特に、天気予報に関する経験則をまとめたフィッツロイに関する逸話、風配図の語源、空にあらわれた奇跡の十字架の気象学的な解釈、人工降雨に関する話題、お天気に関する言葉の語源などの話題に、評者は興味を覚えた。

この本の訳者であるグループWは気象庁において予報に携わっている(いた)5人の方々によって構成されている。取り上げられている話題(俚語)によっては、気象学的にみて本当だろうかと思われる内容もあるので、訳者の経歴を生かし、それぞれの話題の内容についての気象学的な検討あるいは対応する日本での俚語などを、訳注というような形で載せると一層興味深いものとなったと思われる。

パーティなどで気のきいた天気の話をするための種を仕入れるためには格好の本である。会話がはずむこと請け合いである。

(気象研究所 藤谷徳之助)