

局地気候学・局地気象学の体系化の諸問題*

—藤原賞受賞記念講演—

吉野正敏**

1. まえがき

気候とは何であるか、その定義の数は、気候学者の数よりも多いだらうと言われる。なぜならば、気候学者ばかりでなく、気象学者・地理学者・植物学者・地質学者など、それぞれ独自の定義をくだすからである (Godske, 1966)。しかし、いくらたくさんあっても、共通していることは、地球上の大気の状態に關した現象を扱うという点である。また、気象現象の積み重ねが気候であることも共通している。昨今では、他の天体の気候や気象も、研究対象になりだしてはいるが、ここでは話を地球だけに限ることにしたい。

さて、地球上の大気の状態を扱うとき、その方法には物理的、化学的、統計的、総観的など、いろいろな方法があり得るし、対象とする大気空間もまた、大きい空間、小さい空間などの差があり得る。よく知られているように、この空間スケールに応じて、マクロ、メゾ、マイクロという3区分、または、グローバルスケール、シノプティックスケールなどの幾つかのスケール区分が一般的に行なわれている。

表題にかかげている局地というのはローカルスケールのことで、水平的には数十mから数十kmまで、垂直的には数十cmから1kmくらいまでの空間を対象としている。

さて、このように対象空間を固定して、いろいろの方法でとらえる局地気候学・局地気象学を体系化してみたいと私は考えた。初めてそれを考えたのはいつごろであったかはっきりしないが、今から20年以上も前のことだと思う。そして、第1段階として“小気候—局地気象学序説—”(吉野, 1961)をまとめた。その後、国の内外の文献を集め、集大成して“Climate in a small area”(Yoshino, 1975)を刊行するまでに、さらに15年過ぎた。ここまできても、まだ体系化はでき上がっていると

は自分ながら思えない。そこで、今回、昭和52年度の藤原賞をいただいたのを機会に、反省をまじえて、何が問題点であるか、まとめてみたいと思う。すでに、“Climate in a small area”に対する内外の諸先輩・同僚各位の書評が何編かでており、よい反省の材料を与えて下さった。それらをおもに参考にして、この問題点をまともようと考えた次第である。

2. 体系化の方法について

私が日本で研究の場を主として置いてきたのが地理学教室であった理由から、私がこれまでとってきたのはどちらかといえば記述的であった。さらに、外国ではドイツに研究の場を求め、ここでは地理学教室以外に気象学教室で研究を行なったが、そもそも、ドイツ・オーストリアの気候学の本流は記述的であったので、私の研究方法の傾向は、変わらなかった。そこで、“Climate in a small area”をまとめる際、「観測例をできるだけたくさん集めて比較検討し、そこから定量的な法則を導き出す」という方法をとった。記述的な研究方法の第2段階としては、これが自然科学史からみても定石と思う。

当然、第3段階は「現象を物理的に解明すること」であるが、私がしなかったのは、局地気候学の現状はそこまで達してないと思われたし、私のよくなし得るところではなかったからである。

全世界における類似の現象をできるだけたくさん集め、比較検討することは、すでに個人の収集力では不可能に近い。それは局地現象の性格上、発表されている場がいわゆるローカルな雑誌・刊行物の場合が多いからである。また、言語の障害も大きい。それは、WMOの農業気象委員会がまとめた農業小気候序説 (MacHattie・Schnelle, 1974)は本書とかなり内容が重複する小冊子であるが、そこにあげられた1,100を越す文献を見ても、偏りが見られ、文献は重複しているものが少ないことでも証明される。Sutcliffe(1976)は、“Climate in a small area”には1,000以上の著者による1,200を越す文献があがっているが、それでもその選択は almost arbitrary

* Problems in Systematization of Local Climatology and Local Meteorology.

** M. M. Yoshino, 筑波大学地球科学系

のようであると言っているが、私はこれに反論する気持はない。確かに、当然参考にし、引用すべきであった極めて代表的な研究が脱落していたり、後になってそれを知らされたりしたことは赤面の至りではあるが、たとえばと1~2年をかけて世界の調査研究例を集めていたとしても、やはり100%完全には行かなかったであろう。個人力やグループ力では程度の差こそあれ、収集には限界があるからである。

しかし、一方では、コンピュータにたよることも不可能である。現在、計算機による文献の検索は一応は可能になっているが、ローカルな雑誌・刊行物はそもそも入っていないのだからだめだし、また、どんな大型計算機でも、たくさんの論文の中味を比較検討し、法則化したり集大成したりすることは現在のところ不可能であろう。私のとった方法に対して、「このような方法を推し進めてゆくと時間の経過につれていっそう大きなハンドブック化する懸念もなくはない」(前島, 1976)という批判が当然出てくるが、上記の理由で、個人でなくたとえグループでやっても状況はほぼ同じで、残念ながらこの方法には限界がある。

気候現象は気象現象の積み重ねであるから、局地気候学は小地域の気象現象の積み重ねである。だから、「小地域の気象現象を支配する物理的理論を枠組みにした局地気象学が必要である」(前島, 1976)ということは同感である。“Climate in a small area”の最も弱い点は物理的な基礎にある(Barry, 1976)という批判は当然で、これまでの方向とは別に、今後は、物理的基礎に立った体系化の推進を試みる必要がある。

3. グローバルスケールの現象との関連

局地的現象の研究が遅れていたことの理由の一つに、局地現象は特殊現象だという考えが強いことがあった。上記の2に述べたことと実は関連するのであるが、気象学は大気の運動や状態を物理法則によって説明するとすれば、物理法則で説明できるのはいわゆる一般的な、あるいは、ユニバーサルな現象である。しかし、特に雨が降りやすい小地域とか、風が強い小地域とかは、そこだけに発生する局地現象で、これはその土地柄がもたらした特殊現象で、いわゆる土地のくせであるから、どうしてそこにだけ起こるかを物理的に説明するのは難しいという考えである。その考えのために、局地現象は特殊現象としてかたづけられ、研究の対象となりにくいというきらいがあった。これは日本ばかりでなく、世界的に言えることである。

第1表 グローバルスケールでみたフェーンとボラの特性(吉野, 1976による)

	フェーン	ボラ
顕著な季節	暖候季	寒候季
もたらす主な気団	赤道または熱帯・亜熱帯海洋性気団	極または寒帯・亜寒帯大陸性気団
関連する低気圧	熱帯低気圧・熱帯外低気圧	熱帯外低気圧・寒帯低気圧
対流圏の平均循環系(北半球において)	暖候季に南成分が強い地域	寒候季に北成分が強い地域
発達する地域	低緯度・中緯度	中緯度・高緯度
これまで知られている限界	高緯度側限界 南半球 77°30'S 北半球 不明	低緯度側限界 北半球 15°15'N 南半球 不明

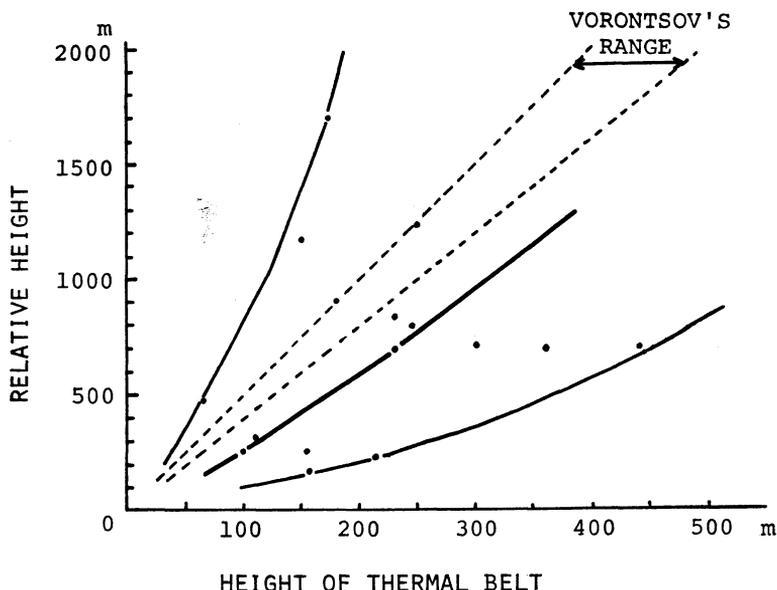
しかし、局地現象はけっして特殊な現象ではなく、地形が似ていて、シノプティックな条件が似ておれば、世界のどこにでも、どのような季節にでも発生するものである。

その一つの例は、フェーンとかボラである。ボラは局地風の一つであるが、その発生場所や時間は、北半球の大気大循環の型と関係がある(吉野, 1976)。すなわち、中部対流圏の平均循環系では、冬には、140°E, 80°W, 10-20°Eに沿って3つの谷が発達する。ボラはこの谷の西側の空気が南下しやすい条件にプラスして、ある一定の中地形条件と小地形条件をそなえたところに発達する。グローバルスケールで見た、フェーンとボラの発達する季節、気団、関連する低気圧、分布地域などは第1表に示す通りである。もちろん例外もあるが、このようにグローバルスケールでまとめる試みは、これまで見逃されていたように思う。

1968-1973年に行なった日本とユーゴスラビアにおけるボラの総合研究においては、アドリア海岸のボラと関東平野の空っ風とをこのようなグローバルスケールでとらえた問題設定をした。次いで、マクロ・シノプティックな条件の類似を把握してから、ローカルスケールの現象の研究に入った(Yoshino, 1976)。このような順序をふんだのは、以上のように、局地現象は特殊現象ではないという考えに基づいており、これを実証したものである。

4. 比較気候学のアプローチ

“Climate in a small area”でとった方法は、いわば



第1図 山地の斜面の温暖帯の中心高度（横軸）と、その斜面下部または谷底と周辺山地山頂部の高度差（縦軸）との関係（吉野による）。

比較気候学的なアプローチであった。比較するためには、できる限りたくさん例を集めなければならないが、「あまり百科事典的に集めることは、結論にまったく至らないことがある」(Unsworth, 1976)。これは、まとめる者の、すなわち私の責任であって、この方法が悪いわけではないと思う。そこで、やや成功している例の一つを紹介しておきたい。山間地では、谷底にはいわゆる冷気湖ができて冷気がたまるので気温は下がる。いっぽう、山頂部は気温減率によって気温が低いので、結果として斜面の中腹が比較的高温となる。これを斜面の温暖帯 (thermal belt) と呼ぶ。ところでこの高度はどのくらいか、諸外国および日本の観測値をできるだけたくさん集めてプロットしてみると第1図を得る。データは“Climate in a small area”のTable 5.25の値である。横軸は斜面の温暖帯（帯状地域の中央の線）の谷底からの高度をとり、縦軸には谷底の高度と周辺の山地の平均高度との差をとった。ここで問題なのは、一つの平均値を得た観測の内容の差である。長いものは4年間の平均、短いものは何週間かの平均、あるものは冬だけの何か月というように差が極めて大きい。また、あるものは月平均値、あるものは日最低気温の月平均値、あるものは晴夜だけの平均値といった状態である。気温の逆転現象であるからもちろん、晴れた風の隠やかな朝に斜面

の温暖帯は発達することが知られているから、そのような場合だけを平均した値と、月平均値、年平均値などで求めた値では違いがあろうが、その違いの補正はする方法がない。これは、比較気候学的方法の最も弱い点である。

さて、第1図には太い実線で全体の傾向線を、細い実線でその上限と下限の傾向線を入れた。かなりの幅があるが、谷底と山頂との高度差が300mの場合、斜面の温暖帯の高度は40—230m、500mの場合70—370m、700mの場合80—450mくらいの範囲をとることが分かる。これだけの幅があるのは小地形条件が単に谷底と山頂の高度差だけで表現できないためと、上記のように、どういう期間（冬か夏かなど）の、どういう値（日最低気温か否か）の、どういう平均値（月平均か年平均かなど）かによるためである。

Vorontsov (1958)は、冷気湖の厚さを谷底と山頂の高度差の0.20—0.25倍であるとまとめた。冷気湖の上限を斜面温暖帯の高さともしすることが許されれば、その範囲は第1図に破線で記入したような状況となる。太い実線で示した全体の傾向線をもし直線で表現すれば、その直線の傾斜から高度差の0.28倍という値を得る。Vorontsov が得たソ連のあらゆる斜面上の冷気湖の厚さに近い値と言えよう。

このように、上限の幅と下限の範囲の幅が広いことは、この次の研究段階では、地形条件、観測条件、統計方法などを整理して幅を狭くしてゆく努力をすべきであろう。これが比較気候学的方法の進む道と考える。

5. 総観気候学のアプローチ

局地気象学または局地気候学的な現象は、ある総観的条件のときだけに発生する。海陸風、山谷風、局地強風、都市温度（ヒートアイランド）、霜害分布などがそのよい例である。ドイツ・オーストリアは局地気候学の発祥の地で都市温度や霜害分布などは20世紀の20年代以来よく調査されてきた。晴れた日の朝にその現象ははっきりするので、その観測はそういう晴れた日の朝に行なわれた。そこで、多少皮肉をもこめて、“Schönwetterklimatologie”（晴天気候学）と呼ばれた。確かに、霜害分布に関連する気温分布は、風の穏やかな晴れた日の朝に観測しなければ意味がないことは言うまでもないが、問題はそういうシノプティックな状態が1年に何回あるいは何年に1回起こるのかも調べる必要がある。たとえそれが極めてまれに起こるとしても、霜害分布が問題になるとすればその局地性は研究しなければならない。

都市温度（ヒートアイランド）はこのごろの都市では、日最低気温の分布ばかりでなく、月平均値や年平均値の分布にも現われてくる。それは、かなり種々のシノプティックな条件でもそれが発生するからである。

このような意味から、総観気候学的方法を局地現象研究に導入することは重要である。これはかなり以前に主張した（吉野，1959）。ただ、メソスケールまたはマクロスケールの総観気候学では、気団、前線または気圧配置型などを分類の基準とすることが適当であるが、スモールスケールの現象では、気流系、卓越風向、地上風速、天気（雲量）、逆転層の存否（気温垂直分布型）などを分類の基準とすると適当である。そして、それぞれの因子の階級別に、局地現象の起こる頻度や局地現象の程度、あるいは、内容の違いを求めることが必要である。これが、総観気候学的方法による局地気候学・局地気象学の体系化の道と思う。

余談になるが、これまで日本で集中豪雨と呼ばれているものには、いろいろな原因、特質を持ったものが含まれているようである。これまでは、集中豪雨の力学的または総観気候学的な研究がほとんどであったが、この局地現象には、総観気候学的手法の導入によるアプローチを試みる必要があるように思う。

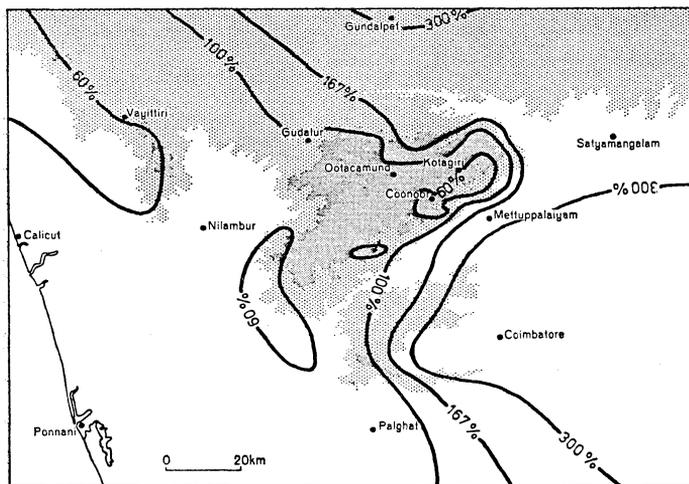
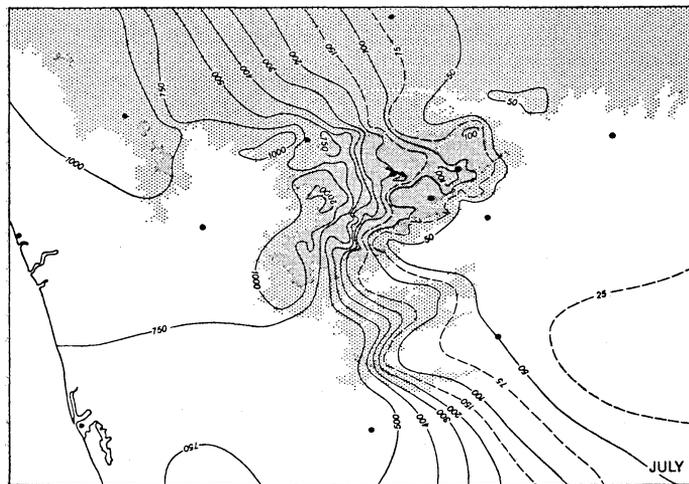
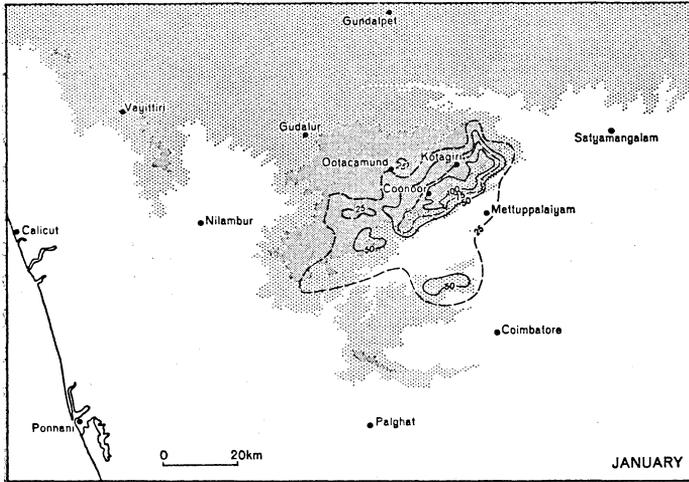
6. 数値実験と模型実験

山谷風、海陸風の数値実験はかなりの成果がすでに発表されている。おそらく、局地現象の中で、最も抽象しやすい現象だからであろう。次いで、山越え気流および風下波動（山岳波）で、これはわが国で進んでいる研究分野である。

しかし、集中豪雨の数値実験はおそらく現状では難しい。過去の事例の数が少ない解析例だけでは、「どこに」「いつ」ということが言えないからである。もっとも、研究の第1段階としては、この範囲の地域のどこかにという程度でも言えればよいのだが、地震の予知と同じで、それでは予報としては意味がなからう。スモールスケールの地形条件の一般化がまだまだ不十分だから数値実験が難しいので、この研究が必要であろう。山谷風におけるような単純な地形モデルではだめであろうし、海陸風におけるような簡単な水陸分布モデルではだめであることは明らかである。設楽(1977)が指摘したように、「同一条件を与えることによって同一現象を再現しうる実験科学的範ちゅうに局地気候の研究を据えることの必要」である。「局地気候の研究にシミュレーションの研究法を導入するための基礎論の展開」というのが、せいぜいこの学問の現状である。

この難点を救うものとして模型実験がある。水槽実験や風洞実験はけっして新しい研究方法ではない。しかし、かなり現実に近い模型を使い、密度成層でなく温度成層を与え、種々の風速の下にたとえば風洞実験を行なうことは極めて有意義と思う。これまで、現実に近い模型を使った風洞実験は工学では行なわれ、また、気象研究所でも行なわれたが、いずれも強風時の現象を主としていた。風の弱いときのヒートアイランドの模型実験は最近になって行なわれるようになった。筆者の考えでは、たとえば、冷氣湖形成の構造や局地不連続線の形成過程を風洞内で再現することなど、一般風が弱い場合の現象に対応した現象を成層風洞によって研究することに期待がもたれる。このような数値実験や模型実験が体系化に果たす役割についてはいまさら論じるまでもなからう。ただ、その実験で、従来不可能であったことをどのようにして克服してゆくかが今後の課題である。

また、模型実験とは言えないが、半乾燥地域を数 km 平方にわたってアスファルトでかためると、アルベドが変化し、結果的にはあたかも山を作ったような効果が現われ、降水量が増加することが確かめられている（MacHattie・Schnelle, 1974）。このような研究は、半乾燥地域の耕地化という目的で行なわれたものではある



第2図 南インドのニルギリス山地とその周辺地域における、(上) 1月と(中) 7月の月降水量分布、および、(下) 年平均〔乾燥月/湿潤月〕の月数比(1941~1970)の分布(Lengerke, 1977による)。

が、一種の実験的研究でもあり、今後の発展が期待される分野である。

7. 最近の1, 2の研究

“Climate in a small area”には参考しなかった研究。あるいはその後刊行された研究で、局地気候学・局地気象学の体系化に参考になるものをここで紹介しておきたい。まとまった総合報告は別の機会にゆずるとして、ここではいろいろの意味で代表的と考えられるものに限りたい。

(1)南インドのニルギリス山地の研究(Lengerke, 1977)は、一つの山地地域の気候と気象を要素別に調べたものである。詳しい記載であるが、特に最後の章で水文学と水収支を扱っていて、この地域の干ばつの局地性が明らかにされている。その一例は、第2図に示すように、山地(図中でかげのついた部分)の比較的狭い数十kmの範囲内でもかなりの差がある。第2図の上は北東季節風の卓越する1月、中央は南西季節風の卓越する7月のそれぞれ月降水量の分布を示す。下は乾燥月と湿潤月の月数比の分布である。ここで、乾燥月とは月降水量60mm以下の月、湿潤月とは100mm以上の月とした。興味あるのは、最下の図である。山地の西方山ろくに60%以下の比較的湿った地域——これは南西季節風の影響が強いため乾燥月の月数が少ない——と、山地の東部斜面に60%以下の地域——これは北東季節風の影響で比較的乾燥月の月数が少ない——の2地域がある。このようにして、この地域の気候の局地性をあらゆる面から画いたのがこの研究である。記述的な局地気候誌としての一つの代表例である。

(2)地域生態学や地域計画との関係で取り組んだ研究(Schreiber, 1969)は、土地利用という応用の目的がはっきりしているが、温度条件、晩霜危険、冬の霜害、雹害、降水条件、土壌条件、植生条件などの局地分布を詳細に調査し、麦、さとうだいこん、りんご、さくらんぼなどの栽培地域計画に発言しようとしたものである。方法は言わば地理学における地域論を適用したものであって、記述方法においてその色彩が強い。こういうアプローチの一つの代表と思われる。

(3)都市気候と地形気候の諸問題についてまとめた約100ページの小冊子(Eriksen, 1975)は、スケールや定義や観測法を述べた章のあと、大気汚染のメソスケールの分布、地形と都市による放射収支の変化、気温や熱収支のメソ気候、都市の温度状態、ヒートアイランドの生気候的意義、都市のヒートアイランド形成の原因、地形と

都市の降水分布に及ぼす影響、メソ気候学的研究結果の応用の諸問題という章に分けて説明している。この章だから分かるように、体系は熱収支で組み立てられている。地球上の気候は、ごく単純化すれば、熱収支と水収支で説明される。局地気候のスケールにおいてもこれがあてはまり、都市気候学の体系化の骨組みとして熱収支をとることは当を得ている。

(4)コロラド州のポールダー地域に吹く強いおろし風の研究(Brinkmann, 1973)は、一つの局地現象の体系的研究のよい例を示す。第1章研究の背景、第2章資料と方法、第3章結果で、ここでは、頻度分布、温度特性、地表風、乱流特性、降水、地上気圧・気流特性に分けて論じている。第4章はまとめとなっている。

(5)アドリア海岸のボラの調査(Yoshino, 1976)では、まず、従来の文献調査から問題の所在をまとめ、次いで先にふれたように、グローバルスケールで見た局地現象であるボラやおろしなどの特性の共通点を考察した。それと、典型的な地域における観測、総観気候学および高層気候学的な関連、統計気候学的な特性、数値実験と風洞実験、ボラと他の局地風との比較、ボラが植生や人間生活に及ぼす影響を研究し、最後にそのまとめを述べた。これは約300ページのモノグラフで22編の論文からなり、そのうちの5編は現地ユーゴスラビアの研究者が書いている協同研究である。上記のポールダーの強風は、一人の研究だから内容の多面性を比較するのは困難だが、このボラの報告書は、筆者が書く体系的研究の一つの例である。局地風ボラという局地現象を例にとって、このような結果にまとめたものである。将来、数多くの局地気候や局地気象が、このようにして研究されてゆけば、局地気候学・局地気象学の体系化はおのずから進むのではなかろうか。

8. あとがき

小気候学の体系化を初めて試みた人はガイガー(R. Geiger)で、その著“Das Klima der bodennahen Luftschicht”という書物であろう。“Climate in a small area”をまとめるに際して、私はGeigerのこの書物を座右に置いて参照したわけではなかった。私の場合は小地域内の現象の水平分布解明に重点を置き、総観的な見方を強調したので、Geigerの書物で垂直分布の物理を対象とした傾向からは、かなりずれているつもりであった。そこで、たくさんの書評においてGeigerとまず比較されたことに、私はむしろ驚き、かつ、学生時代以来の私の研究の基盤に彼の書物が無意識のうちに喰い込ん

でいたのかと改めて思い直し、彼の偉大さを再認識した。それらの指摘をした人びとは、高橋浩一郎(1975)、河村武(1976)、前島郁雄(1976)、Barry(1976)、Hopkins(1976)、Oliver(1976)、Thom(1976)である。私の仕事は Geiger の延長上にあるか否かは 質的にも、またその学問的価値の上から言っても、将来の科学史家の判断に任せるほかないと思う。とにかく、局地気候学・局地気象学の体系化が重要であることは確かで、われわれはそれを目ざさねばならない。

ここには触れなかった、なおたくさんの書評を通じ、著者に体系化についての反省の機会を与えられた諸氏に深謝する。また、学生時代以来の恩師である福井英一郎先生はじめ、国内外のこの研究分野の諸先生、諸先輩、同僚各位、および、観測や資料の整理を労をいとわず手伝ってくださった数えきれない協力者の皆さんにこの機会に御礼申し上げる次第である。

文 献

- Barry, R.G., 1976: Bull. Amer. Met. Soc., 57, 316.
- Brinkmann, W.A.R., 1973: NCAR Cooperative Thesis, No. 27, INSTAAR Occasional Paper, No. 6, 229p.
- Eriksen, W., 1975: Erträge der Forschung, 35, 114 S.
- Godske, C.L., 1966: Arch. Met. Geoph. Biokl. [B]14, 219-279.
- Hopkins, J.S., 1976: Met. Mag., 105, 130-131.
- 河村 武, 1976: 地理学評論, 49, 114.
- Lengerke, H.J. von, 1977: Beitr. Südasien-Forsch, Sudasien-Institut, Univ. Heidelberg, (32), 340p.
- MacHattie, L.B., F., Schnelle, 1974: WMO Tech. Note, (133), 1-133.
- 前島郁雄, 1976: 科学, 46, 261-262.
- Oliver, J.E., 1976: Geogr. Rev., 66, 357.
- Schreiber, K.F., 1969: Arbeiten der Universität Hohenheim, 45, 166 S.
- 設楽 寛, 1977: 東北地理, 29, 60.
- Sutcliffe, R.C., 1976: Nature, 259, 609.
- 高橋浩一郎, 1975: 天気, 22, 548.
- Thom, A.S., 1976: Quart. J. Roy. Met. Soc., 102, 741-742.
- Unsworth, M., 1976: Agricultural Met., 17, 212-213.
- Vorontsov., P.A., 1958: Trudy GGO., (73), 61-86.
- 吉野正敏, 1959: 自然地理学調査法, 三野与吉編, 朝倉書店, 275-282.
- , 1961: 小気候, 地人書館, 274p.
- Yoshino, M.M., 1975: Climate in a small area, Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 549p.
- 吉野正敏, 1976: 科学, 46, 500-506.
- Yoshino, M.M., 1976: Local wind bora, Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 289p.