



竹内清秀*

1. はじめに

ここ10年くらいの間に、その応用も含めて大気境界層の研究に従事する人の数は、若い人を中心に急激に増えてきた。筆者もこの研究仲間に入れてもらえるものとして、ご同慶のいたりと思われる。

わが日本気象学会の春秋2回の研究発表会では、大気汚染を含めた大気境界層の分野の発表論文が全体のほぼ1/4に達し、毎年のように配慮されている一番広い会場も常に満員の盛況である。また、お医者さんなど多方面の人々を抱えた大気汚染学会でも、気象・拡散についての研究発表の数は大きな比重を占めている。

さて、大気境界層専門の雑誌“Boundary-Layer Meteorology”が発刊されたのは1970年であり、大気境界層に関する研究の隆盛を象徴しているように見える。この雑誌の出る少し前、現在でも編集委員長をしているカナダの Munn 博士から筆者あての手紙が届いた。「いま大気境界層の専門雑誌の発行を計画しているが、投稿者、購読者が充分にいるだろうか。もし発行するようになったら、編集委員会のメンバーになってくれないか」という問合わせであった。現在、立派な雑誌として成長しているが、10年前には、この種の雑誌の発行はカケの要素が多かったようである。

このように、近年、大気境界層の研究が盛んになったのは、少なくとも二つの理由があるように思われる。経済の高度成長に伴って環境悪化が社会問題となり、大気汚染など具体的な問題の解決のため、実用的でしかも精度の高い大気拡散の研究開発が強く要請されたことである。もう一つは、大気大循環など地球規模の気象現象でもエネルギーの収支や物質輸送について、大気境界層の果たしている役割りの重要性がますます強く認識されるようになったことである。とにかく、われわれは大気境界層のうちの接地層（地上から数十mの気層）に生活しており、また活動範囲もほとんど大気境界層（地上から

約1,000mまでの気層）の中にあるので、この気層の研究が盛んに行なわれるようになったことは、当然といえば至極当然のことであろう。

少し過去を振り返ってみよう。第2次大戦中、化学兵器などに関連し各国で拡散の研究が行なわれていたことは一部でよく知られている。その英国での成果が、Sutton (1953) : *Micrometeorology* にまとめられている。接地層についての構造・輸送・拡散の古典とでも言うべきものである。その後、方々で行なわれた各種の条件での接地層気象観測の結果が、ソ連の Monin・Obukhov (1954) によって統一的に論ぜられた。これが接地層の相似則と呼ばれるもので、現在にいたるまで接地層はもちろん大気境界層全体を論じる基礎となっている。

不幸にも兵器として使用が開始された原子力が、戦後になって発電など平和的に利用されるようになった。そして、その安全確保のために長距離（たとえば100 km）の拡散についての十分な知見をもつ必要が出てきた。そして、放射性物質を含むいろいろな汚染物質の拡散に関する総合的でしかも実用的な書物が発行された。Slade ed., (1968) *Meteorology and Atomic Energy*（もっとも、これは新版）である。また、同じころから経済の高度成長が叫ばれ、大規模なコンビナートが各所に建設され、都市に人口が集中するようになった。その結果、大気汚染をはじめとする環境汚染が大きな社会問題となった。汚染される面積も飛躍的に拡大し、汚染源から数十kmあるいは都市全体に及ぶ場合も出てきた。したがって、これらの対策に関連して汚染物質の拡散を取り扱う際には、接地層内だけでは不十分であり大気境界全体にわたる気層を考慮しなければならなくなった。

このように、近年、大気境界層の研究が多方面から要請されていたことから、前にも述べたように若い人を中心に、その数は急激に増加した。この現象は世界的に見ても同様である。そして現在、かつての研究推進役は後

* Kiyohide Takeuchi, 福岡管区気象台。

継者にその役割りを譲りつつあるように思われる。拡散で実用的な体系を作った有名な Pasquill は既に英国気象局を去り、Monin や Panofsky も今や長老的存在というべきであろう。彼等のもとで育った世代が、現在、目覚ましい活躍をしている。

わが国でも、数多くの若い人々が中心となって、大気境界層のいろいろな分野にわたって調和のとれた研究を行ない、いっそう輝かしい成果を挙げることが望ましい。そこで筆者は、大気境界層についてある程度の知識を持っていることを読者に期待しつつ、各分野についてガイドの役を果たしたいと思う。なお初心者の方は、多少時代遅れのところもあるが、かつて、気象学入門講座の中で筆者の書いたガイド(竹内, 1969)を参考にされるとよいかも知れない。

2. 大気境界層の構造

2.1 教科書

いずれの分野でも、研究者の間で十分な情報交換ができていなければならない。そのためには共通の言葉をもつ必要がある。言い換えれば、共通の座標系に立っていることである。教科書はその役目を果たす最大のものであろう。

接地層について衰えぬ名声を保持しているのが、Lumley・Panofsky (1964): *The Structure of Atmospheric Turbulence* である。出版した時期もよかったのであろう、接地層における観測値や理論(相似則)が一応出揃ったときであった。この本は二つの分野に分かれており、接地層を取り扱うのに必要な乱流理論と相似則に基づいて処理をした観測結果が数多く述べられている。標準的な教科書である。

もっと掘り下げて勉強するには、Monin・Yaglom (1971, 1975): *Statistical Fluid Mechanics* (2 vols.) が適当であろう。2巻とも部厚い本であるが、まずは必要な部分だけを読んでよい。この本は乱流一般の教科書であるが、気象に関する記述が多い。著者は共に気象学者であるからであろう。なお、4巻に及ぶ邦訳がこのほど完了したが、専門用語の訳し方になじめないものがあるうえ相当高価なので、英文の方がよいという人もあろう。

大気境界層全体を扱った本には、つぎのものがある。Zilitinkevich (1970): *Dynamics of the Atmospheric Boundary Layer* (ロシア語) および、Plate (1971): *Aerodynamic Characteristics of Atmos-*

pheric Boundary Layer である。前者は、この分野で活発に仕事をしているロシアの研究者の著書で非常によい本と思われる(筆者は残念ながらロシア語ができないので、式と図とで判断)。以前から英訳が出版されると言われながら、まだ実現されていないようである。後者も非常に参考になる本である。一般の室内実験で得られた資料を多く使用しているので、気象屋さんには多少取り付きにくいかも知れないが、風洞実験などをしている人たちには逆に分かりやすいと思われる。

教科書とは言えないかも知れないが、アメリカの気象学会から出版された書物、Haugen ed. (1973): *Workshop on Micrometeorology* は特徴のある本である。1972年に5日間にわたって開催された講習会の講義録であり、当代一流の研究者(Busch, Businger, Wyngaard, Panofsky, Tennekes, Estoque, Deardorff, Donaldson)が執筆している。それぞれ個性的で華やかさを感じるほどである。接地層、大気境界層、数値モデルを扱っており、Lumley・Panofskyの教科書のつぎに読む本として推せんする。

海気の相互作用を含む物理量輸送について新しい教科書は見あたらないように思われる。Priestley (1959): *Turbulent Transfer in the Lower Atmosphere* および、Roll (1965): *Physics of the Marine Atmosphere* は古典的存在である。Kraus (1972): *Atmosphere-Ocean Interaction* は相当理論的である。理論の好きな人にはよい本であらう。

最近出版された書物に、Oke (1978): *Boundary Layer Climate* がある。大気境界層を気候学的に扱ったもので、都市気候や大気汚染などにも及び広範囲の分野を扱っている。比較的読みやすい本である。気候学といえば、つぎの本は分かりやすく定評のある教科書であり、非常に参考になる。Sellers (1965): *Physical Climatology* および、Geiger (1973): *The Climate near the Ground* である。後者は初版が1927年に出版され、その後つぎつぎと改訂され、部厚い本となっている。ハンドブックとして便利である。多少内容は異なるが、Munn (1966): *Descriptive Micrometeorology* は接地層の構造その他について要領よく分かりやすく書いてある。接地層の概要を短時間に理解するのに格好の本で、とくに初心者におすすめしたい。

ところで、大気境界層の研究を大いに発展させ新機軸を出すためには、流体力学の原点に戻って勉強するのも大切と思われる。とくに乱流についての知識が必要であ

る。いろいろと数も多いが、筆者がときどき見ているものにつぎの書物がある。Hinze (1975): **Turbulence** および, Tennekes・Lumley (1972): **A First Course in Turbulence**. ともに標準的な教科書で、よく引用されている。Townsend (1976): **The Structure of Turbulent Shear Flow** は定評のある書物。Schlichting (1979): **Boundary-Layer Theory** は大部すぎてハンドブック的。Landau・Lifshitz (1959): **Fluid Mechanics** (邦訳あり)は物理学な記述で優れている。また、Panchev (1971): **Random Functions and Turbulence** は大気境界層に関する記述もある。Brodky (1967): **The Phenomena of Fluid Motions** は数式の詳細な演算まで書かれていておもしろい。わが国での標準的な教科書として、つぎの本をすすめたい。谷 (1967): **流れ学**, 日野 (1974): **流体力学**. ともに丁寧に書かれていて読みやすい。

2.2 総合報告

数個の分野に分類して述べようと思うが、一つの総合報告論文でいろいろな分野にまたがっているものも多いから、この試みは必ずしも簡単ではない。

2.2.1 観測について

わが国では戦後まもなくの小型3杯風速計はじめ、超音波風速計、係留気球用乱流測器など測器の開発で優れた成果をあげてきた。したがって、野外観測についての総合報告も数多い。目にとまったものを記す。竹内(1972)、光田(1972)、文字・水間(1976)、花房(1977a)は、AMTEXに関連した観測の記述である。また、竹内(1975)、林(1978)、山本(1978)、林ら(1978)は、広域大気環境調査などの観測計画に関連したものと思われる。音波レーダなどの比較的新しい測器についても述べられている。なお、音波レーダについては、福島ら(1976)が詳細な解説を行なっている。

超音波風速計を中心とする乱流観測の国際比較が数回行なわれている。それらの報告書を見ると、各国の先端的な観測装置が分かって興味深い。つまり、Miyakeら(1971)、Tsvangら(1973)、光田ら(1978)を参考にされるとよい。

塩谷・岩谷(1973)には、風の乱れを測定するため、サンプリングの問題、測器、信号の処理など心得おくべきことが親切に書かれている。また、スペクトル解析については、花房(1977b)があり、得られた結果についても記載されている。なお、スペクトル解析の理論的解説書として日野(1978)がある。

この項の最後に一言。観測するには、当然ながら目的がはっきりしているはずである。大気境界層の研究全体が調和がとれ、しかも効率的に成果が得られるように、観測目標を決めて実施されるよういっそう努力してほしい。たとえば、1968年カンサスで、また1973年ミネソタで行なわれた観測が、その後の研究にどれほど貢献したかを考えるとき、その感を深くする。

2.2.2 構造について

乱流理論を適当に途中に入れながら大気境界層の構造および拡散の解説をしているのが、島貫(1973; 1975)である。相似則に基づいた説明がもう少しほしかったように思われる。また、島貫(1977)は、普及講座の一つとして初心者向けの解説である。竹内(1976)は、相似則を基礎において一般向けに接地層と大気境界層の構造について述べている。竹内・伊藤(1966)と併せ読まれるとよいかもかもしれない。

根本(1972)、横山(1972)、島貫(1972)は、ともに大気境界層のシンポジウムに提出された論文である。AMTEXを目前にしての会合であったので、その意気込みが感じられる。農業気象に関連して、耕地微気象についての詳細な解説が内嶋ら(1974)によって行なわれている。接地層についていろいろな観点からの記述である。ハンドブックの一つの章として書かれたものであるから、見るのに便利な形式となっている。

海外の総合報告としては手に入りやすいものから選ぶことにする。Yaglom(1974)およびZilitinkevich・Monin(1974)が標準的な論文であるように思われる。相似則を生み育てたソ連の学者の著作であり、前者は接地層について、後者は大気境界層について書かれている。ついでながら、これらは1973年モスクワで開催されたシンポジウムの議事録である。ZilitinkevichやMoninらは、別のところでも総合報告を書いている。Zilitinkevich・Laikhtman・Monin(1967)、Monin・Zilitinkevich(1967)、Monin(1973)などである。ともに相似則に基づいており、その後の研究発展の礎となっているように思われる。

米国では、Blackadar(1967)および前述のWorkbookのTennekes(1973)の報告がある。ドイツでは、雑誌Beitr. Phys. Atm.に出した自分の論文を中心に編集したWippermann(1973)がある。論文集のようなものであるから、そのつもりで読めば有益であろう。

ここで今さら言うまでもないが、接地層の相似則は一

言で言えば次のようになる。気象状態が定常などという条件が整えば、接地層の気象要素の統計量は、地表付近の摩擦応力・熱流束・浮力によって一義的に決定されるというのである。そして、野外での観測資料はほとんどこれを実証している。ついで、この相似則を大気境界層全体にまで拡張しようとして、上述の三つの基本的物理量のほかにコリオリのパラメータを付け加えて、いわゆる大気境界層の抵抗則を導き出したのである。しかし、これを実測で確かめることはむずかしい。この相似則の前提となっている定常条件が、実際は日変化のため満たされることはないからである。

そこで、時間的に変化する大気境界層の厚さを導入することを **Zilitinkevich・Deardorff** (1974) らが考えた。これは、従来からの相似則の発展と見るべきであろう。さて、その厚さは別に決定すべき問題である。上層に熱的に安定な気層がある場合、下層大気を熱するときその厚さはどのように変化するであろうか。たとえば、**Carson** (1973) も取り扱っているが、この種の問題の解決は大気境界層の構造研究の一つの方向と思われる。これらのことについて、**片山** (1978) の解説がある。

なお、接地層の構造(相似則)の研究は峠を越えたという見方もあるが、安定度の極端な場合の研究が残っており、これは非常に大切な問題であると思われる。この項の終わりに、1972年までの文献を年代別に整理し多少説明を加えた報告書のあることを記しておこう (**Counihan**, 1975)。

2.2.3 モデル作成

相似則はあくまでも次元解析に頼っており、解決の見当もつかない状態から法則性を見出す一つの手段とも考えられる。そして、その妥当性は実測値によって確認されなければならない。ともかく、**Monin・Obukhov** らの先駆的な仕事は大いに評価されるが、問題解決の精度という点では、0次あるいは1次近似とでもいうべきものであろう。最近になって運動方程式などの原点に立ち返って見直そうという考えが出てきたのも自然である。ここに大きな要因となったのは計算機の性能の向上であって、この試みがある程度実行可能となったからである。とは言うものの、大気の運動ではレイノルズ数が非常に高いので、時間的にも空間的にもメッシュを非常に細かくとって計算しなければならない。それでもなお近似計算をする必要があるが、計算機の性能や取り扱い問題の種類などによって、いろいろな近似の方法が考えられている。

運動量や熱量は、風速や気温の変動の2次のモーメントで表現される。乱流理論でよく知られているように、2次のモーメントの時間的変化を表わす式は3次のモーメントを含んでいる。同様にして、ある次数のモーメントの時間的変化を求めようとすると、それより1次高いモーメントを含み、完全には正確に解くことができない。それで、物理的意味を考えながら、この泥沼の鎖をどこかで絶ち切って解けるように工夫することになる。これがクロージャー問題と呼ばれるものである。大気大循環などの研究から、いろいろな方法が提出されている。これについて、**片山** (1972; 1978) の解説があり、複雑な現状をよく整理している。なお、前述の **Workshop on Micrometeorology** の中の **Deardorff** および **Donaldson** の解説、**Lumley・Khajeh-Nouri** (1974) や **Wyngaard** ら (1974) の論文も、著者らがこの問題の活発な開発者だけに得るところが多い。

さて、大気境界層の数値モデルは、現在わが国では大気大循環の研究者が中心となって実施されているが、大気拡散や大気境界層の構造そのものの研究にも大きな役割をするはずである。今後この方面の活躍が期待される。また、観測する場合にも重点を置くところが多少変化し、研究全体が促進されるようになるかも知れない。

2.2.4 海気相互作用

地球表面が水面であることは、風のために波が生じて陸地のように簡単ではない。また、海の大気に及ぼす影響が大きいことから、最近、**BOMEX**、**AMTEX** などの研究計画でも海気相互作用が中心課題であった。

この分野の解説は比較的多い。**鳥羽** (1970)、**竹内** (1972)、**近藤** (1973) は、接地層における運動量・熱量・水蒸気の輸送の求め方や抵抗係数などについて記している。**Kondo** (1975) には、これまでの観測値を整理して実用的なバルク方法について書かれている。

また、**小倉・浅井** 編 (1975) : **海洋気象** には、**竹田** や **平たち** が大気と海洋の相互作用のマイクロプロセスおよび風波などについて親切な解説を行なっている。**光田** もこの中で観測について記している。いずれもよくまとめている。

2.2.5 その他

地表面が平らで一樣であるという単純な場合から、条件をはずすことを考えよう。地表面が急に变化した場合がその簡単な例である。それだけに、多くの研究者によって取り扱われている。前述の **Plate** (1971) には一章を設けて解説している。海(あるいは湖)陸風について

も多くの論文が出ている。ここでは、気候学的な解説の **Lyons (1975)**, **浅井 (1979)** の簡単なモデリングの説明, および典型的な数値モデルの論文の **Pielke (1974)** を紹介するに止めよう。

最近、環境問題に関連して都市気候が取り上げられている。ヒートアイランドについては、たとえば、**木村・松野 (1979)** の分かりやすい解説があり、都市の風については、**市街地風研究会編(1978) : 市街地風の研究** がある。まとまった記述がしてあり大いに参考となる。

3. 大気境界層の中での拡散その他

3.1 大気拡散

近年、大気汚染が大きな社会問題となり、環境濃度を削減するために、大気拡散の研究が大いに促進された。そのため、大気拡散の書物は大気汚染の問題と深く関係している。

標準的教科書は、**Pasquille (1974) : Atmospheric Diffusion** である。これは第2版であり、1962年の初版を新しく改訂したものである。この方面の必須の書物である。前に述べた **Slade ed. (1968)** は大気拡散のハンドブックとしても利用でき便利である。**Csanady (1973) : Turbulent Diffusion in the Environment** は理論を主とした教科書である。ソ連の大気拡散の研究については、つぎの本によくまとめられている。**Berlyand (1975) : Contemporary Problems in Atmospheric Diffusion and Atmospheric Pollution** (ロシア語、邦訳あり)。なお、著者はこの分野の大家である。

環境濃度の計算を実施する上で、非常に参考になるのがつぎの書である。**Turner (1970) : Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates** および **Franckenberg** ら eds. (1973) : **Recommended Guide for Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents** である。実用的な濃度計算に必要な有効煙突高度(煙の上昇を考え入れた仮想的な煙突高度)の推定について、**Briggs (1969) : Plume Rise** は欠かすことができない。

なお、大気汚染を念頭においた大気拡散について、**竹内 (1979)** の解説があり、約10年間わが国には珍しくこの道に打ち込み多くの成果をあげたグループのまとめが、**横山ら(1979)** に見られる。啓発されることが多い。

3.2 大気汚染

大気汚染一般についての標準的な教科書として、**1979年12月**

Seinfeld (1975) : Air Pollution がある。大気汚染について論じるときに必要な物理的(大気拡散を含む)および化学的な事項が余すことなく書いてあり、第一に推せんする。また、定評ある書物に **Stern** の編集した大部のものがあるが、われわれの仕事に直接関係のあるものはつぎの巻である。**Stern ed. (1976) : Air Pollution, Vol. 1** であり、汚染物質の大気拡散や変質などについて詳細に書かれている。

わが国の気象に関連した大気汚染の研究については、**河村 (1976)** に相当詳しく解説されている。文献も多く引用されている。

環境アセスメントについては、**横山ら (1975) : 環境アセスメント手法入門** がおもしろい。気象学的見地から種々の項目について書かれ、ハンドブックとしても便利である。**近藤編 (1975) : 大気汚染** は、大気汚染をモデル化するのに必要な数学的手段などが比較的詳しく書かれている。また実例も豊富である。

さて、アメリカ気象学会から出版された **Haugen ed. (1975) : Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses** は、この方面の著名の学者10人余り(**Pasquill, Gifford, Briggs, Lyons, Hanna** ら)がそれぞれ専門分野について書いたものであり、深い知識が読み取られ大いに参考となる。

3.3 構造物に対する風の作用

最近では、高層ビルはますます高くなり、海峡や内海には長大な橋がかかるようになった。それらの構造物の設計には、風から受ける力が大きな要素となっている。そのために、風の構造物に与える影響について数多くの書物が出版されている。最近の本としては、**岡内ら (1977) : 耐風構造** があり、自然風の解説も含めて詳細に記述している。ごく最近出版された本、**塩谷 (1979) : 強風の性質** は、著者が長年にわたって研究してきた強風の構造を実測に基づいて克明に説明したものである。構造物設計者ばかりでなく、大気境界層に関心のある人たちにも、大いに参考になる本である。

外国にもいろいろあるが、分かりやすいつぎの本をあげるに止める。**Houghton・Carruthers (1976) : Wind Forces on Buildings and Structures.**

4. 資料など

4.1 観測資料

自分で観測し資料を整理し解析して、新しい現象を発見したり理論の確認を行ったり、あるいは新たな理論

的發展をしたりすることは本当に望ましい。しかし、一般に解析結果などの2次あるいは3次製品だけの発表が多い。なまの観測資料そのものを皆の前に出し、その妥当性を確認してもらうことも大いに意義のあることである。しかも、私蔵することなく公開することによって広く利用することになれば、互いに喜ばしいことであり、ことに観測者の榮譽は長く残るであろう。また、最近のように大型プロジェクトとなれば、観測値の公開は当然のことと思われる。

さて、今でもよく利用される資料の例として次のものがあげられる。Lettau-Davidson eds. (1957), Barad ed. (1958), Haugen ed. (1959) がある。最初のもは Great Plain Project, あとの二つは Project Prairie Grass と呼ばれているものである。また, Clarke ら (1971) は, Wangara Experiment と言われる大気境界層の観測資料であり, 数値モデルの検証にしばしば用いられている。

わが国でも, 周知のように2年にわたって共同観測をした AMTEX の資料が刊行されており, また, 南関東地域で実施された観測資料も気象庁から出されている。ともに相当大部のものである。今後大いに利用されることであろう。

4.2 プロシーディング

関係ある分野の研究発表内容は, 研究者にとって最大の関心事である。ことに大きな会議や国際的なシンポジウムでは, 各研究者が互いにしのぎを削っているから, そのプロシーディングにはいつも啓発される。

たとえば, IUGG と IUTAM 共催の境界層・拡散などのシンポジウムのプロシーディングは今でも非常に有益である。また, アメリカ気象学会の大気拡散と大気汚染のシンポジウムのものもおもしろい。ほかにもいろいろな会議があるが, その一部を上記のものとともに最後の文献の中に示してある。

4.3 雑誌

大気境界層の研究成果は, 一般の気象学の雑誌に掲載されていることは言うまでもないが, 専門雑誌として **Boundary-Layer Meteorology** がある。編集委員長は Munn, 1970年に発刊され1979年現在第16巻が出されつつある。

また, 大気汚染を中心とする雑誌 **Atmospheric Environment** にも関係のある論文が出ている。

5. おわりに

大気境界層の研究は, 述べてきたように多岐にわたる。応用的立場にたつものと純学問的にたつものに分けることができよう。後者の立場をとるとしても, 大気境界層の構造そのものを対象とする研究や, 大気大循環解明のための境界条件として見る研究などがあり, 研究目的の違いによって自然と方法も異なってくる。したがって, 互いに疎遠になることも無理からぬことである。

しかし, 互いの発展のためには, 他の協力が必要である。たとえば, AMTEX のような大きな目標をもつ研究では, 互に緊密にしなくては所期の目的を達成することができない。緊密な共同作業をした実績をもとに, 今後これを継続し発展させたいものである。これは, 大気汚染研究などの応用分野との協力でも同様である。

幸いこの国には研究者が多いのであるから, これを利用して研究の質の飛躍的な発展を遂げたいものである。

文 献

(項目は本文と同じ)

1. はしがき

Monin, A.S. and A.M. Obukhov, 1954: Basic turbulent mixing laws in the atmospheric surface layer, Trudy Geofiz. Inst. AN SSSR, No. 24 (151), 163-187.

Slade, D.H. (ed.), 1968: Meteorology and Atomic Energy, U.S. Atomic Energy Commission, 445 pp.

Sutton, O.G., 1953: Micrometeorology, McGraw-Hill, 333 pp.

竹内清秀, 1969: 大気乱流を勉強しようとする人へ (気象学入門講座), 天気, 16, 563-566.

2. 大気境界層の構造

2.1 教科書

Brodkey, R.S., 1967: The Phenomena of Fluid Motions, Addison-Wesley, Reading, Mass., 737 pp.

Geiger, R., 1973: The Climate near the Ground, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 611 pp.

Haugen, D.A. (ed.), 1973: Workshop on Micrometeorology, Amer. Met. Soc., Boston, 392 pp. (特に内容をつぎに示す)

Busch, N.E.: On the mechanism of atmospheric turbulence.

Businger, J.A.: Turbulent transfer in the atmospheric surface layer.

Wyngaard, J.C.: On surface-layer turbulence.

Panofsky, H.A.: Tower micrometeorology.

Tennekes, H.: Similarity law and scale relations in planetary boundary layer.

Estoque, M.A.: Numerical modeling of plane-

- tary boundary layer.
- Deardorff, J.W.: Three-dimensional numerical modeling of the planetary boundary layer.
- Donaldson, C. duP.: Construction of a dynamic model of the production of atmospheric turbulence and dispersal of atmospheric pollutants.
- 日野幹雄, 1974: 流体力学, 朝倉書店, 275 pp.
- Hinze, J.O., 1975: Turbulence(2nd ed.), McGraw-Hill, New York, 790 pp.
- Kraus, E.B., 1972: Atmosphere-Ocean Interaction, Clarendon Press, Oxford, England, 275 pp.
- Landau, L.D. and E.M. Lifshitz, 1959: Fluid Mechanics, Pergamon Press, Oxford, England, 548 pp. (竹内均訳, 1970: 流体力学, 2 vols., 東京図書, 597 pp.).
- Lumley, J.L. and H.A. Panofsky, 1964: The Structure of Atmospheric Turbulence, John Wiley, New York, 239 pp.
- Monin, A.S. and A.M. Yaglom, 1971; 1975: Statistical Fluid Mechanics, Mechanics of Turbulence, 2 vols., The MIT Press, Cambridge, Mass., 769 pp., 874 pp. (山田豊一訳, 1975; 1976: 統計流体力学, Vols. 1, 2, 総合図書, 700 pp., 山田豊一・中野徹訳, 1978; 1979: 統計流体力学, Vols. 3, 4, 文一総合出版, 833 pp.).
- Munn, R.E., 1966: Descriptive Micrometeorology, Academic Press, New York, 245 pp.
- Oke, T.R., 1978: Boundary Layer Climates, Methuen, London, 372 pp.
- Panchev, S., 1971: Random Functions and Turbulence, Pergamon Press, Oxford, England, 444 pp.
- Plate, E.J., 1971: Aerodynamic Characteristics of Atmospheric Boundary Layers, U.S. Atomic Energy Commission, 190 pp.
- Priestly, C.H.B., 1959: Turbulent Transfer in the Lower Atmosphere, Univ. of Chicago Press, Chicago, 130 pp.
- Roll, H.U., 1965: Physics of the Marine Atmosphere, Academic Press, New York, 426 pp.
- Schlichting, H., 1979: Boundary-Layer Theory (7th ed.), McGraw-Hill, New York, 817 pp.
- Sellers, W.D., 1965: Physical Climatology, Univ. of Chicago Press, Chicago, 272 pp.
- 谷 一郎, 1967: 流れ学 (第3版), 岩波書店, 268 pp.
- Tennekes, H. and J.L. Lumley, 1972: A First Course in Turbulence, The MIT Press, Cambridge, Mass., 300 pp.
- Townsend, A.A., 1976: The Structure of Turbulent Shear Flow (2nd ed.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, England, 429 pp.
- Zilitinkevich, S.S., 1970: Dynamics of the Atmospheric Boundary Layer, Gidrometeoizdat, Leningrad, 290 pp. (ロシア語)
- 2.2 総合報告
- 2.2.1 観測について
- 福島圓, 田中浩, 古浜洋治, 1976: 電波・音波探査装置, 電波研究所季報, 22, 427-442.
- 花房龍男, 1977 a: 境界層の観測, 天気, 24, 448-462.
- , 1977 b: スペクトル解析の方法と気象要素のスペクトル, 気象研究ノート, 131, 1-60.
- 林 正康, 1978: 大気境界層の観測方法, 天気, 25, 315-323.
- , 横山長之, 小堀泰宏, 斎藤 進, 1978: 音波レーダによる大気境界層の観測, 天気, 25, 331-338.
- 日野幹雄, 1978: スペクトル解析, 朝倉書店, 300 pp.
- 光田 寧, 1972: プラネタリー境界層の計測方法, 天気, 19, 644-647.
- ら, 1978: 1976年オーストラリアで実施された乱流計測器国際観測, 天気, 25, 715-722.
- 文字信貴, 水間満郎, 1976: 風・温度・湿度及び乱流輸送量の測定, 気象研究ノート, 130, 19-25.
- Miyake, M., *et al.*, 1971: Comparison of acoustic instruments in an atmospheric turbulent flow over water, Boundary-Layer Met., 2, 228-245.
- 塩谷正雄, 岩谷祥美, 1973: 風の乱れの測定, 気象研究ノート, 114, 70-110.
- 竹内清秀, 1972: 地空相互作用に関する研究の現状——わが国の観測態勢, 天気, 19, 60-70.
- , 1976: 大気乱流, 気象研究ノート, 128, 91-101.
- Tsvang, L.R. *et al.*, 1973: A comparison of turbulence measurements by different instruments, Tsimlyansk Field Experiment 1970, Boundary-Layer Met., 3, 499-521.
- 山本 晋, 1978: 赤外線測定による気温鉛直分布の観測, 天気, 25, 324-331.
- 2.2.2 構造について
- Blackadar, A.K., 1967: External parameters of the wind flow in the barotropic boundary layer of the atmosphere, Report of the Study Conference on GARP, June 28-July 11, 1967, Stockholm, 11 pp.
- Carson, D.J., 1973: The development of dry inversion capped convectively unstable boundary layer, Quart. J. Roy. Met. Soc., 99, 450-467.
- Counihan, J., 1975: A diabatic atmospheric boundary layers, A review and analysis of data from the period 1880-1972, Atmos. Env., 9, 871-905.
- 片山 昭, 1978: 混合層としての境界層, 気象庁技術報告, 93, 270-283.
- Monin, A.S., 1973: Boundary layers in planetary atmospheres, In Dynamic Meteorology (P.

- Morel, ed.), 419-468, D. Reidel, Dordrecht, Holland.
- Monin, A.S. and S.S. Zilitinkevich, 1967: Planetary boundary layer and large-scale atmospheric dynamics, Report of the Study Conference on GARP, June 28-July 11, 1967, Stockholm, 37 pp.
- 根本 茂, 1972: 接地層における乱流輸送, 天気, 19, 647-654.
- 島貫 陸, 1972: プラネタリー境界層の理論, 天気, 19, 659-662.
- , 1973; 1975: 境界層と乱流, 気象研究ノート, 114, 1-69; 124, 61-64.
- , 1977: 大気境界層の気象(普及講座), 天気, 24, 607-616.
- 竹内清秀, 1976: 大気乱流, 気象研究ノート, 128, 91-101.
- , 伊藤昭三, 1966: 大気乱流研究の展望, 天気, 13, 313-324.
- Tennekes, H., 1973: Similarity law and scale relations in planetary boundary layers, In Workshop on Micrometeorology (Haugen, ed. 2.1の項を参照), 177-216.
- 内嶋善兵衛ら, 1974: 耕地微気象, 新編農業気象ハンドブック(坪井八十二編), 70-284, 養賢堂.
- Wippermann, F., 1973: The Planetary Boundary Layer of the Atmosphere, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M., 346 pp.
- Yaglom, A.M., 1974: Data on turbulence characteristics in the atmospheric surface layer, *Izv., Atmos. and Ocean Phys.*, 10, 341-352.
- Zilitinkevich, S.S., D.L. Laikhtman and A.S. Monin, 1967: Dynamics of the atmospheric boundary layer, *Izv., Atmos. and Ocean Phys.*, 3, 170-191.
- , and A.S. Monin, 1974: Similarity theory for the planetary boundary layer of the atmosphere, *Izv., Atmos. and Ocean Phys.*, 10, 353-359.
- 2.2.3 モデル作成
- Lumley, J.L. and B. Khajeh-Nouri, 1974: Computational modeling of turbulent transport, *Adv. in Geophys.*, 18A, 169-192, Academic Press, New York.
- 片山 昭, 1972: 大気境界層のパラメタリゼーションと数値実験, 天気, 19, 633-643.
- , 1978: 境界層の取り扱い, 気象研究ノート, 134, 153-200.
- Wyngaard, J.C., O.R. Coté and K.S. Rao, 1974: Modeling the atmospheric boundary layer, *Adv. in Geophys.*, 18A, 193-211, Academic Press, New York.
- 2.2.4 海気相互作用
- 近藤純正, 1973: 海面境界層研究における最近の動向, 天気, 20, 389-404.
- Kondo, J., 1975: Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions, *Boundary-Layer Met.*, 9, 389-404.
- 小倉義光, 浅井富雄(編), 1975: 海洋気象, 東京大学出版会, 191 pp. (特に内容の一部を示す).
- 竹田 厚: 海洋上の大気境界層——大気と海洋の相互作用のマイクロプロセス
- 平 啓介: 海面の力学——風波
- 光田 肇: 大気・海洋相互作用の観測
- 竹内清秀, 1972: 地空相互作用に関する研究の現状——わが国の観測態勢, 天気, 19, 60-70.
- 鳥羽良明, 1970: 海面境界過程, *海洋物理 I*, 145-263, 東海大学出版会.
- 2.2.5 その他
- 浅井富雄, 1979: 海陸風のモデリング, 都市の大気環境(河村武編), 126-137, 東京大学出版会.
- 木村竜治, 松野太郎, 1979: ヒートアイランドのモデリング, 都市の大気環境(河村武編), 138-158, 東京大学出版会.
- Lyons, W.A., 1975: Turbulent diffusion and pollutant transport in shoreline environments, In *Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses* (Haugen, ed., 3.1の項参照)
- Pielke, R.A., 1974: A three-dimensional numerical model of the sea breeze over south Florida, *Mon. Wea. Rev.*, 102, 115-139.
- 市街地風研究会(編), 1978: 市街地風の研究, オーム社, 184 pp.
3. 大気境界層の中での拡散
- 3.1 大気拡散 および 3.2 大気汚染
- Berlyand, M.E., 1975: Contemporary Problems in Atmospheric Diffusion and Atmospheric Pollution, *Gidrometeoizdat, Leningrad*, 448 pp. (ロシア語)(内嶋善兵衛, 岩切敏, 今井和彦訳, 1978: 大気汚染とその防止法——大気拡散と大気汚染に関する最近の諸問題, 農林水産技術会議事務局, 322 pp.).
- Briggs, G.A., 1969: Plume Rise, U.S. Atomic Energy Commission, 81 pp.
- Csanady, G.T., 1973: Turbulent Diffusion in the Environment, D. Reidel, Dordrecht, Holland, 248 pp.
- Frankenberg, T.T., F.E. Gartrell and I.A. Singer (eds.), 1973: Recommended Guide for Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents (2nd ed.), *Amer. Soc. Mech. Eng.*, New York, 85 pp.
- Haugen, D.A. (ed.), 1975: Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses, *Amer. Met. Soc.*, Boston, 296 pp.
- 河村 武, 1976: 大気汚染, 気象研究ノート, 128, 285-301.
- 近藤次郎(編), 1975: 大気汚染——現象の解析とモ

- デル化, コロナ社, 361 pp.
- Pasquill, F., 1974: Atmospheric Diffusion (2nd ed.), Ellis Horwood, Chichester, Sussex, England, 429 pp.
- Seinfeld, J.H., 1975: Air Pollution, McGraw-Hill, New York, 523 pp.
- Slade, D.H., (ed.), 1968: (1. の項を参照)
- Stern, A.C. (ed.), 1976: Air Pollution (3rd ed.), Vol. 1, Air Pollutants, their Transformation and Transport, Academic Press, New York, 715 pp.
- 竹内清秀, 1979: 輸送過程——近距離輸送から広域輸送まで, 大気汚染物質の動態 (磯野謙治編), 143-172, 東京大学出版会.
- 横山長之, 北林興二, 足立芳寛, 1975: 環境アセスメント手法入門, オーム社, 220 pp.
- ら, 1979: 大気汚染質の拡散に関する研究 (公害資源研究所報告15号), 公害資源研究所, 408 pp.
- 3.3 構造物に対する風の作用**
- Houghton, E.L. and N.B. Carruthers, 1976: Wind Forces on Buildings and Structures, Edward Arnold, London, 243 pp.
- 岡内 功, 伊藤 学, 宮田利雄, 1977: 耐風構造, 丸善, 418 pp.
- 塩谷正雄, 1979: 強風の性質——構造の耐風設計に関連して, 開発社, 193 pp.
- 4. 資料など**
- 4.1 観測資料**
- Barad, M.L. (ed.), 1958: Project Prairie Grass, Vols. 1, 2, Air Force Cambridge Research Center, Bedford, Mass., 280 pp, 209 pp.
- Clarke, R.H., A.J. Dyer, R.R. Brook, D.G. Reid, and A.J. Troup, 1971: The Wangara Experiment, Boundary layer data (Div. of Met. Phys., Tech. Pap., No. 19), CSIRO, Austral., 340 pp.
- Haugen, D.A., (ed.), 1959: Project Prairie Grass, Vol. 3, Air Force Cambridge Research Center, Bedford, Mass., 673 pp.
- Lettau, H.H. and B. Davidson (eds.), 1957: Exploring the Atmosphere's First Mile, 2 vols, Pergamon Press, London, 578 pp.
- AMTEX 関係 (Management Committee for AMTEX 発行)
- AMTEX '74 Data Report, Vol. 4, Boundary Layer and Radiation Observations(Y. Mitsuta and T. Fujita, eds.), 172 pp.
- AMTEX '75 Data Report, Vol. 4, Boundary Layer and Radiation Observations(Y. Mitsuta and T. Fujita, eds.), 295 pp.
- AMTEX '75 Data Report, Vol. 8, Aircraft Observations(Y. Mitsuta and O. Tsukamoto, eds.), 471 pp.
- 南関東大気環境調査関係 (気象庁発行)
- 南関東大気環境調査特別観測資料, 1975 a, b, 1969 a, b, 530 pp., 486 pp., 376 pp., 421 pp.
- 4.2 プロシーディング**
- IUGG-IUTAM 関係**
- Frenkiel, F.N. and P.A. Sheppard (eds.), 1962: Atmospheric Diffusion and Air Pollution, Proc. of IUGG-IUTAM Symposium, Oxford, England, Aug. 24-29, 1958, Adv. in Geophys., 6, Academic Press, New York, 471 pp.
- Frenkiel, F.N. (ed.), 1962: Fundamental Problems in Turbulence and their Relation to Geophysics, Proc. of IUGG-IUTAM Symposium, Marseille, France, Sept. 4-9, 1961, J. Geophys. Res., 67 (8), 3007-3241.
- Bowden, K.F., F.N. Frenkiel and I. Tani (eds.), 1967: Boundary Layers and Turbulence Including Geophysical Applications, Proc. of IUGG-IUTAM Symposium, Kyoto, Japan, Sept. 19-24, 1966, Amer. Inst. Phys., New York, 322 pp.
- Frenkiel, F.N. and R.E. Munn (eds.), 1974: Turbulent Diffusion in Environmental Pollution, Proc of IUGG-IUTAM Symposium, Charlottesville, Va., April 8-14, 1973, Adv. in Geophys., 18A, 18B, Academic Press, New York, 462 pp., 389 pp.
- アメリカ気象学会関係**
- Symposium on Atmospheric Diffusion and Air Pollution, Santa Barbara, Calif., Sept. 9-13, 1974, 434 pp.
- Symposium on Atmospheric Turbulence, Diffusion, and Air Quality, Raleigh, North Carolina, Oct. 19-22, 1976, 596 pp.
- Joint Conference on Application of Air Pollution Meteorology, Salt Lake City, Utah, Nov. 29-Dec. 2, 1977, 413 pp.
- Symposium on Turbulence, Diffusion and Air Pollution, Reno, Nevada, Jan. 15-18, 1979, 676 pp.
- その他**
- Stern, A.C. (ed.), 1970: Proc. of Symposium on Multiple-Source Urban Diffusion Models, Chapel Hill, North Carolina, Oct. 27-30, 1969, U.S. Environmental Protection Agency.
- WMO, 1978: Papers Presented at the WMO Symposium on Boundary Layer Physics Applied to Specific Problems of Air Pollution, Norrköping, Sweden, June 19-23, 1978, WMO, Geneva, 322 pp.