

ヒマラヤ南まわりのじょう乱に伴う雲パターン

嶋村 克*

1. はじめに

気象現象に対するヒマラヤ山塊の影響を正しく把握するには、今日でも多くの困難がある。たとえば、数値モデルにおいて、ヒマラヤの風下側の下層に非現実的な昇温が現われたり、ヒマラヤ以東の亜熱帯ジェットがよく表現されない問題がある (Masuda, 1978; 住, 1981)。ヒマラヤ南まわりのじょう乱もその1つで、じょう乱の位相の追跡の難しさ、ヒマラヤ山塊による地形性じょう乱との判別難しさ、中国大陸における傾圧帯やジェット構造の複雑さなどが、(特に西日本の) 天気予報の難題になっている。ここでは、ヒマラヤ南まわりのじょう乱が気象衛星資料ではどのような現われ方を示すかを、衛星資料から何がわかるかを考えてみたいと思う。

2. ヒマラヤ南まわりのじょう乱にともなう雲システム

口絵写真1~6の中で、AからBにのびる雲は、いずれもヒマラヤ南まわりのトラフがヒマラヤ付近を通過中にあらわれた雲システムである。GMSの観測位置からはヒマラヤ地域は観測領域の西端近くにあたり、画像にゆがみがあるのはやむをえないが、それでも特徴ある雲パターンは把握できる。インド洋やベンガル湾のかなり低緯度(5~15°N)から東北東に延びる長大な雲バンドの形状を示し、雲型は絹雲が主体となっている。トラフの東進とともに雲パターンも東進する。

はじめに、これらの雲パターンとヒマラヤ南まわりトラフとの関係の一例を、第1図(a)及び(b)に示す。第1図は、横軸に東経70~140度の範囲の北緯25度線に沿う500 mb高度を、縦軸に時間をとって示した、いわゆるトラフ・リッジダイアグラムである。期間は1979年2月1日~4月4日である。5760 m以下の高度域に点彩を施してある。またCLOUDと記した列には、ヒマラ

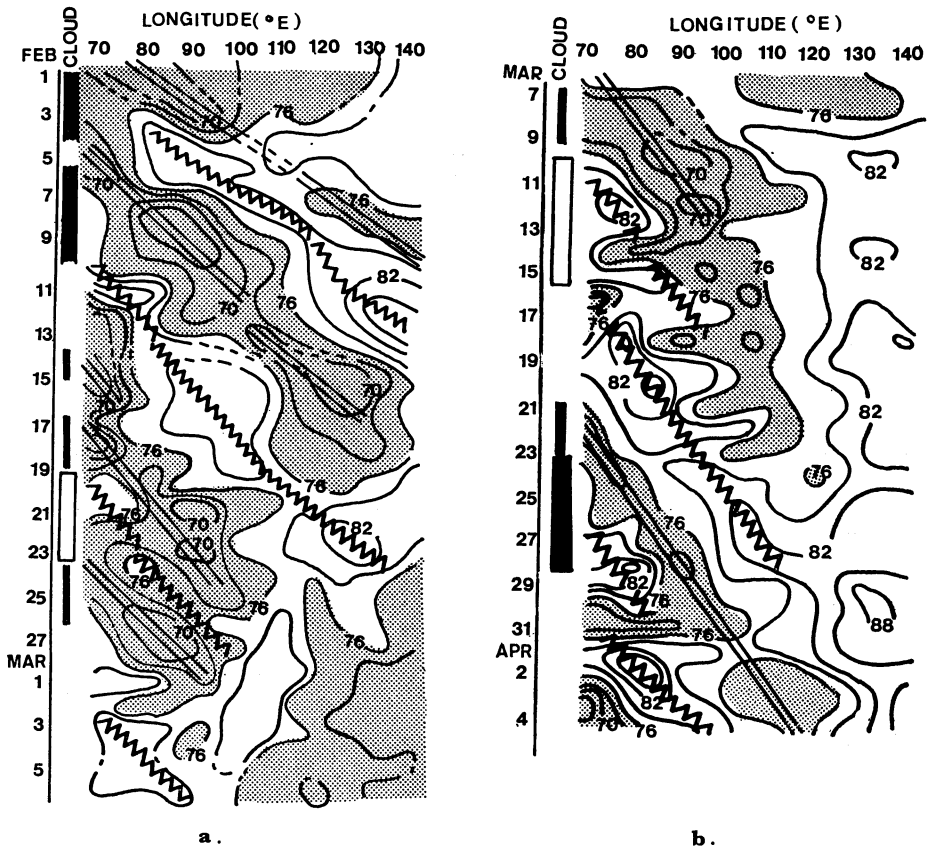
ヤの南の地域で上記の雲パターンが出現した場合に黒の帯(明瞭なものは太く、やや不明瞭なものは細い帯)で、雲の特に少ない場合は白い帯で示してある。図からわかるように、黒の帯がある時点はすべてトラフが70~90°Eを通過中であり、雲のない時期はリッジが同経度を通過中である。トラフは、ヒマラヤ通過時に停滞や急激な移動など動きが不規則になることが多い(竹永, 1966)。ここで示す雲パターンの出現・移動の動向に注目することは、ヒマラヤ南まわりトラフの位相の追跡に役立つことがわかる。顕著な雲パターンが明瞭に東進してくれば、ヒマラヤ南まわりのトラフの影響を考えなければならぬ。

3. 雲システムと亜熱帯ジェットの関係

第1図に示すように、1979年3月下旬に、顕著なヒマラヤ南まわりおよびヒマラヤ越えのじょう乱が東進し、日本に悪天をもたらした。このじょう乱にともなう雲システムは、口絵写真2及び口絵写真5~8に示してある。第2図と第3図は、衛星センターの風計算用ルーフィルムを用いて、このじょう乱に伴う上層雲の移動を追跡して算出した風分布と流線である。主要な雲パターンを点彩域で示してある。絹雲の移動が示す風の高度は一定でないので、この風分布は一定高度または一定気圧面のものではない。そこで対応する領域でのレーウィン・ゾンデの風資料と比較すると、以下に示すように、この雲バンドの絹雲の移動は亜熱帯ジェットの風を示していることがわかる。

第4図は3月27日12Zにおける110°Eに沿う断面図である。この図の中で、衛星の風ベクトルが対応する高度(Best Fit Levelという)を太破線で示してあるが、地点57745(27.5°N, 110.0°E付近)以南では亜熱帯ジェット高度と一致している。風分布図(第3図)で、この地点から流れの上流へさかのぼると、そこには亜熱帯ジェットを示す強風軸が走り、同じ位置(強風軸から

* Masaru Shimamura, 気象庁予報課。



第1図 東経70~140度の範囲の北緯25度に沿う500mb高度を用いたトラフ・リッジダイアグラム。期間は1979年2月1日~4月4日。数字は5,000mを省略した10m単位の500mb高度。点彩域は5,760m以下の領域。二重線はトラフ、鋸状線はリッジを示す。CLOUDの列については本文参照。

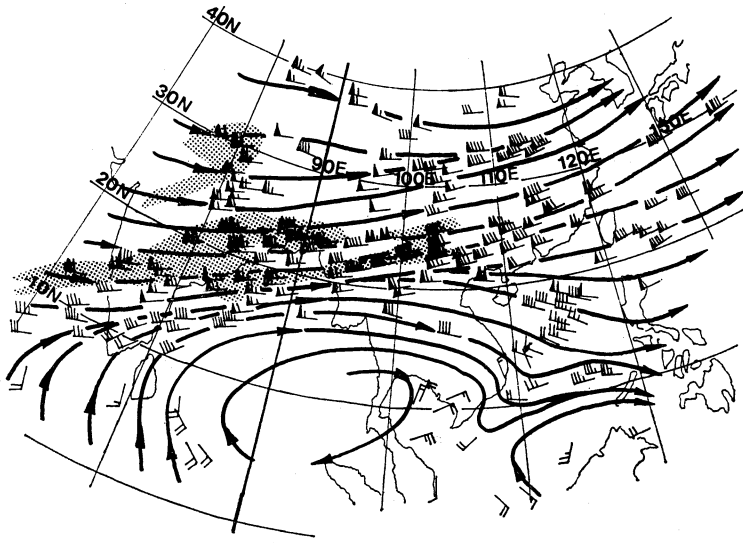
南)に雲システム(点彩域)がある。第2図での雲バンドと亜熱帯ジェットとの対応(断面図省略)は、より明瞭である。

Krishnamurti (1961)によると、寒候期の亜熱帯ジェットは3波数の蛇行をして地球をとりまき、ヒマラヤ南は、東太平洋(140°W付近)、アフリカ大陸西岸沖(20°W付近)とともに定常的な蛇行の谷の場所となっている。第5図にヒマラヤの谷の部分を示す。定常的な谷の前では、熱帯から高緯度へのじょう乱による角運動量輸送のチャンネルとなっている。ここでは亜熱帯ジェット縞雲の長大な雲バンドが西南西から東北東へ延びていることが、衛星により観測される(Anderson *et al.*, 1974)。

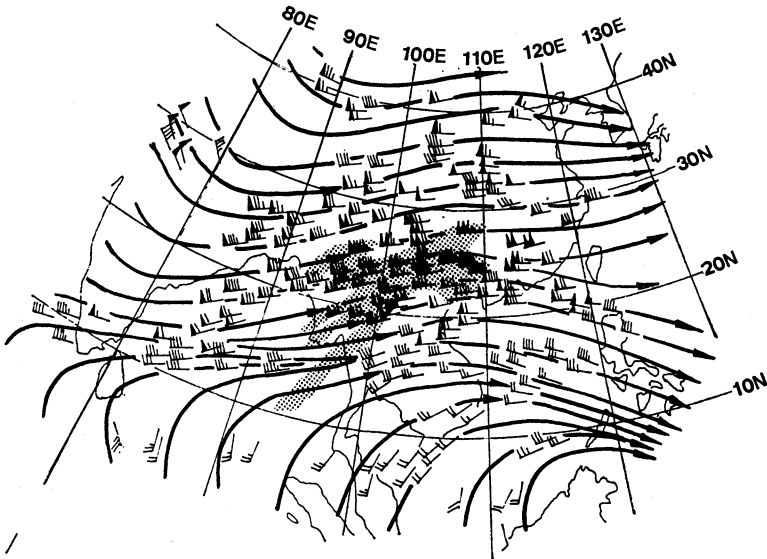
口絵に示すような雲バンドと上層(200mbなど)の高度場との対応を調べてみると、第6図(Anderson・

Veltishchev, 1973より引用)に似ている。低緯度(A)の位置から雲バンドが東北東(A-B-C)に延び、この雲の北縁に亜熱帯ジェットがある。この雲バンドをともなう亜熱帯ジェットは、北西方からの別のジェット(雲を伴わない)の上を交差(cross over)しながら北上している。少なくとも、移動性のトラフ前面にみられるヒマラヤ南の亜熱帯ジェットは、Krishnamurtiのような単純な3波数の蛇行の谷前面というより、2つのジェットの交差と考えた方がよいかも知れない(Reiter *et al.*, 1969参照)。

いずれにせよ、口絵に示す雲パターンは、ヒマラヤ南まわりのトラフ前面の亜熱帯ジェットに伴っていると結論できる。



第2図 衛星資料の絹雲の移動から求めた風分布と流線。点彩域は同時刻の主たる雲システム 1979年3月26日12Zのもの。



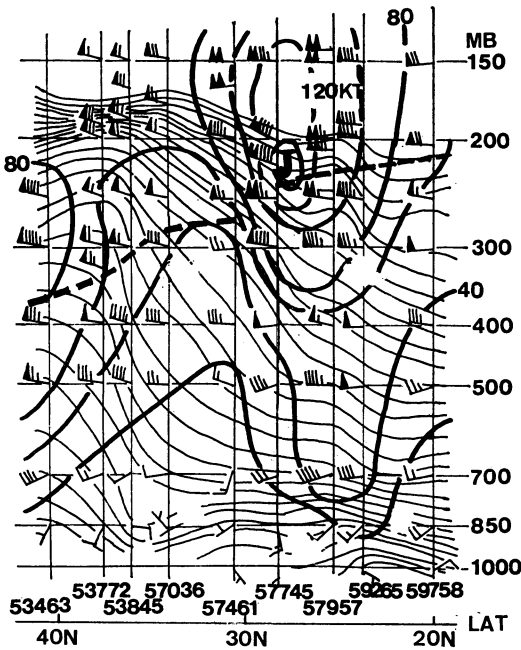
第3図 第2図に同じ。但し1979年3月27日12Zのもの。

4. 華南の雲システムの特異性

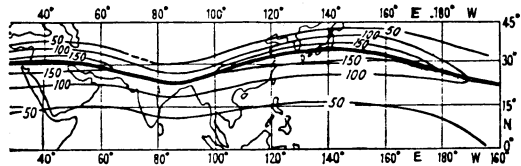
ヒマラヤ南をじょう乱が通過中は、第3章に示したように亜熱帯ジェットに伴う絹雲主体の雲システムがみられるが、谷が東進してヒマラヤ東端に近づくと、口絵写真6~8 (1979年3月下旬の場合) に示すような雲パターンに変化する。すなわち、谷前面(華南)で下層雲や

対流雲が発生し、通常の発生期の低気圧あるいは前線性波動にともなう雲システムと類似の雲パターン(口絵写真8のS)に発達する。

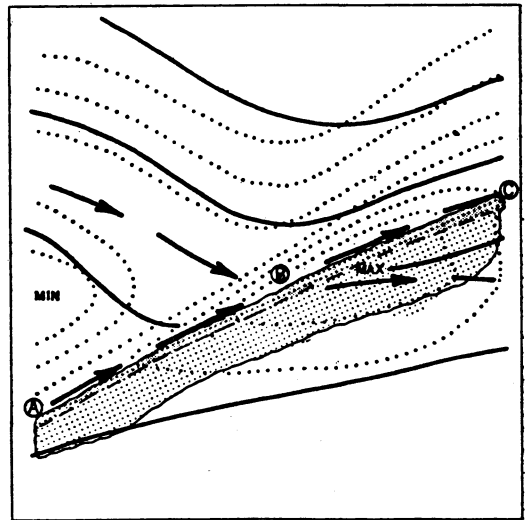
Anderson *et al.* (1974)によれば、前線性波動が発生すると、高気圧性曲率をもった雲の北へのふくらみ(Bulge)が発生する。雲のこのふくらみの部分で1000~



第4図 1979年3月27日12Zの東経110度に沿う断面図。細実線は等温線、太実線は等風速線。太破線は衛星の風ベクトルに対応する高度 (Best Fit Level)。



第5図 東経30度～西経160度の範囲のサブジェット (1955年12月～1956年2月)。細実線は等風速線、数字の単位はノット (Krishnamurti, 1961 による)。



第6図 2つのジェットが接近・交差する場合の雲パターンとジェットとの関係。実線は上層 (200 mb) の等高度線、点線は等風速線。①, ②, ③は本文参照 (Anderson・Veltshchev, 1973 による)。

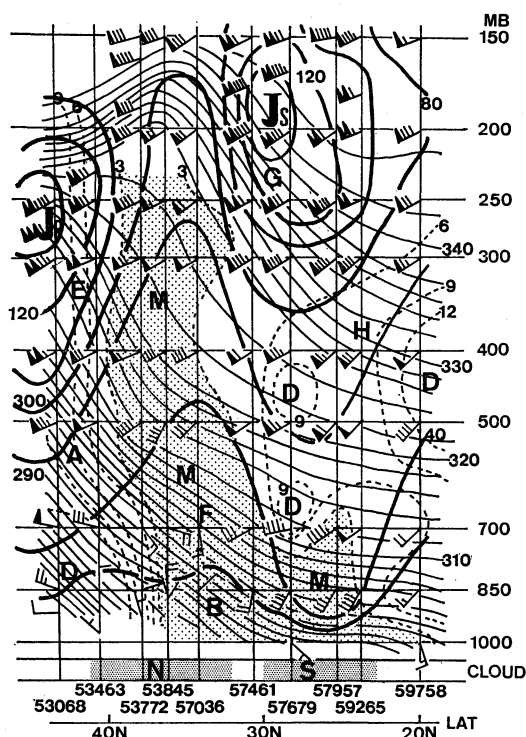
対応する。南の前線そのものは風の水平シアラインで、温度傾度の強いのはNの雲域の緯度帯である。一方、南の前線のさらに南では温度傾度は弱く、風は全域南西～西南西風である。

第7図に同時刻の110°Eに沿う断面図を示す。雲システムNの緯度では、温位線は集中し、等圧線と交わって強いソレノイド場 (A-BおよびE-F) を形成し、Nの北端近くにあるポーラージェット Jp と対応している。このようにNの領域は Anderson *et al.* のモデルの通りになっている。一方雲システムSの領域では、温位線の走向は水平で等圧線と密に交わっていない (850 mbの弱い温度傾度に対応している)。特に中層では温位傾度が弱く、弱い風の鉛直シアと対応している。ただSの北縁付近の上層には、亜熱帯ジェット Js とそれともなる上層の傾圧帯 (G-H) がみられる。なお第7図におけるこれらの特徴は、第4図に示す27日12Zの断面図でもほとんど同じように表われている。

さらに第7図の水蒸気場をみると、雲システムNの領域では対流圏全層にわたって湿潤である。しかし雲システムSの領域では下層と上層 (亜熱帯ジェット付近) は湿潤であるが、中層は乾燥している。この水蒸気場から推定して、雲システムSを構成する主要な雲は、下層雲と亜熱帯ジェットに伴う絹雲であろう。28日12Zには、

500 mb 層厚傾度 (中層以下の温度傾度) の極大があり、ふくらみの北端付近に (極前線系の) 温度風ジェットがある。口絵写真8の時点 (3月29日00Z) では、北へのふくらみをもった雲パターンはSの他にその北に雲システムNがあり、NとSは南北に並んでいる。南北に2つの前線性波動が発生したのであろうか。

口絵写真8には、同時刻の850 mb 天気図 (図省略) に解析されている低気圧 (L) と前線 (破線) を示してある。北の前線は低気圧 (先行する極前線系の低気圧) L2 に連なる前線帯である。南の前線は雲システムNに



第7図 1979年3月30日00Zの110°Eに沿う断面図。細実線は温位線(10度毎に温位を示す)。太実線は等風速線(数字の単位はノット)。破線は湿数(3度毎)で3度以下の領域に点彩を施してある。Mは湿润、Dは乾燥を示す。Jpはポーラージェット、Jsは亜熱帯ジェット。断面図の下のCLOUDの欄には口絵写真8の雲システムNとSの領域を点彩で示してある。LATは緯度の意味で10度おきに緯度を示す。A, B, E, F, G, Hについては本文参照。

まだ絹雲が薄く広がっているだけの状況がみられる(口絵写真7)。また口絵写真8をみると、特に110°E以西で活発な深い対流雲とそれから流れるAnvil cirrusがあるようである。この深い対流雲は低気圧の暖域の不安定気団内でよくみられるものである。

以上をまとめてみると

(1) 雲システムNは、典型的な前線性波動に伴うモデル通りの雲システムである。

(2) 雲システムSは、パターンはNに似ているが、前線性波動に伴うものと考えにくい。ヒマラヤ南まわりの谷の前面で亜熱帯ジェットに伴う上層雲が谷とともに東進

し、華南に達した時点で下層雲と深い対流雲が発生して重なり、雲システムSが形成されたと考えられる。

雲システムSはヒマラヤ南まわりのじょう乱によって華南で発生する典型的雲システムである。等圧面天気図や数値予報資料では傾圧帯や低気圧ないし正渦度などが不明瞭であったり位相の追跡が難しい場合でも、この雲システムは追跡可能なことが多い。例えば3月29日00Zの数値予報資料によれば、実況で雲システムNには明瞭な700 mb ω の負の値(-5~6 mb/hr)が計算されているが、雲システムSの領域には閉じた等値線すらない。しかし、29日以後もSはよく追跡され、日本に悪天をもたらした。このように南まわりの雲システムは、位相の追跡など予報上の実務的側面からも、また傾圧帯やジェットとの関係の面からも、さらに深く調査する必要がある。

5. まとめ

口絵に示すような雲システムは

- (1) ヒマラヤ南まわり系のトラフに伴って発生する。
- (2) ヒマラヤ南では移動性トラフ前面での亜熱帯ジェットに伴う上層雲から成る。
- (3) 華南に到達すると、一見前線性波動ともなる雲システムに類似の雲システムに変化するが、傾圧帯もジェットも弱い。亜熱帯ジェットに伴う絹雲の下に下層雲と暖域内の深い対流雲が発生してできたシステムであるようである。正渦度・上昇流などで不明瞭な場合でも、南まわりのじょう乱の追跡に役立つと思われる。

文 献

- Anderson, R.K. and Veltishchev, N.F., 1973: The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting, WMO Tech. Note No. 124, World Met. Organization, Geneva, p. 224.
- et al., 1974: Application of meteorological satellite data in analysis and forecasting, ESSA Tech. Report NESC 51, 4-c-1-4-c-4.
- Krishnamurti, T.N., 1961: The subtropical jet stream of winter, J. Met., 18, 172-191.
- Masuda, Y., 1978: The 4-dimensional analysis incorporating dynamical effects of large-scale orography, GARP. WGNE. Report No. 18, 35-36.
- Reiter, E.R. and L.F. Whitney, 1969: Interaction between subtropical and polar-front jet stream, Mon. Wea. Rev., 97, 432-438.

住 明正, 1981: 大気大循環モデルでのチベット高原付近の大気の流れ, 天気, 28, 427-440.

竹永一雄, 1966: 九州における総観解析の問題点 (3), 技術通信, 12, 369-378.



Vincent J. Schaefer and
John A. Day 著

A Field Guide to the Atmosphere

Houghton Mifflin Company, Boston,
1981, 120×169 mm, 359頁, 336図版

このたび米国で、ペタースン野外観測手引シリーズの1つとして、上記の大気観測の手引書が出版された。著者の1人、シェーファー博士は人工降雪の創始者として著名な研究者であるが、高校生をフィールドにつれてゆくなど、気象教育にも格段の努力をはらっていることにかねがね注目していたが、今回の出版はその集大成とみられる。

我国では、中学・高校生の気象観測といえば百葉箱にたより、デスクワークといえば天気図にかぎられているようであるが、本書は大気現象を自分の眼で観測することが如何にすばらしいことであるかを、多くの貴重な写真で如実に示してくれる。内容を略記すれば、

1. The Global Atmosphere

大気中の大エアロゾルの役割からときおこし、低気圧・前線・台風・臨海降雪・汚染大気の輸送までの現象が、克明な気象衛星写真を使って見事に可視化されている。

2. Clouds, Air, Condensation and Atmospheric Motion

大気の上昇運動や降水現象を簡潔に説明しているが、地上からみた雲の写真がすばらしい。

3. Unusual Clouds in the Atmosphere

ジェットストリームにもなる絹雲の形態・飛行機雲・原爆雲・霧層や、層雲を貫いた塔状雲の頂上水平シャワーのため列状に巻いている写真など、専門家がみても珍奇なものが多い。

4. Color in the Atmosphere

華麗な32枚の雲や太陽のカラー写真を使って大気の種類々の着色現象を示し、これを大気中の微粒子・雲粒や氷晶の存在で気象光学的に手際よく説明している。

5. Clouds Seen from the Airplanes

雲を航空機で上から撮影して、雷雲の消長、山岳地域におしよせる層雲の前進・後退、風塵の大気層への輸送、晴天積雲のすじ状配列、島上積雲、山岳地の波状雲など、その発生機構をあわせ考えると興味深い写真が多い。

6. Severe Storms

電光で照明された雷雲、トルネード、降雹雲、降雪雲、寒冷前線の端の雲、乳房雲、ハリケーン、電光、落雷による山火事などの写真で、大気現象のすさまじさを生々しく示している。

7. Particles in the Atmosphere

エアロゾルから雪の結晶にいたる、大気中の粒子の発生や挙動の略述。

8. Weather Modification

過冷却微水滴の氷化の室内実験、ドライアイス散布による層雲の氷化と降雪、イエロストーン公園の間歇泉の氷化実験、雪雲化した工場煙、航空機の通過による過冷却雲の消滅など、類のない貴重な写真が多い。

9. Precipitation-Forms and Effects of Ice and Water

過冷却微水滴に関係した大気現象、たとえば氷柱・霧氷・着氷・氷筍や雪紋など、高橋喜平氏の写真集を思わせるものがある。

10. Simple Experiments

眼でみたマクロな大気現象は、大気中の粒子のミクロな変態を実験的に確かめてこそ、より深く正しく理解される。その意味で、本書は大気観測の手引と称しているものの、本章は最も独創的な部分であり、著者の独壇場であろう。家庭の冷凍庫を使った有名な過冷却微水滴の凍結実験、雪結晶のレプリカ方法、エイトケン核の実験、上昇流の渦動、雨滴の粒径分布、晴天電場の観測、雲の具体的な撮影技術など、中学・高校の理化学実験室、いや家庭でも直ちに実施できる実験の手順がのべられている。

ある程度の雲物理学的な素養があるために、筆者は本書の見事な写真に感動しすぎたかも知れない。しかし、無地の眼と心をもつ若い人達にはなおさら驚異かも知れない。素朴な疑問から出発して更に専門的な勉強を始めるよすがとなれば、本書の目的が達せられることになるのではなからうか。(孫野長治)