

山脈の風上側に発生した浅い対流雲

荒井 浄*

1. はじめに

気象衛星「ひまわり」の赤外データの水平分解能は日本付近で約7km, 温度分解能は0.5°K で約100m の高度差に対応するから, 衛星データを用いて地形の影響による雲の発生や降水現象を調べることができる。ここでは東北地方と九州の山岳によって発生した雲の解析例を紹介したい。

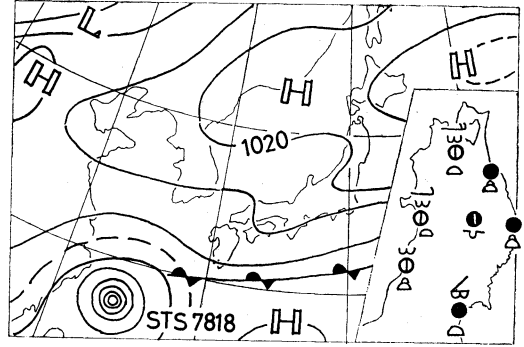
2. 東北地方の例

口絵写真1は, 1978年9月12日09時(00Z)から3時間ごとの「ひまわり」の画像を示す。雲はまず下北半島の沖合20~30kmに発生して, 3時間後には海岸に沿って存在している。写真には示していないが, 12日16Z~21Zにかけて絹雲におおわれて下層雲は見えなくなる。しかし, 13日00Zには再び現われ, その後13日の夜に再度絹雲におおわれるまで存在が認められた。

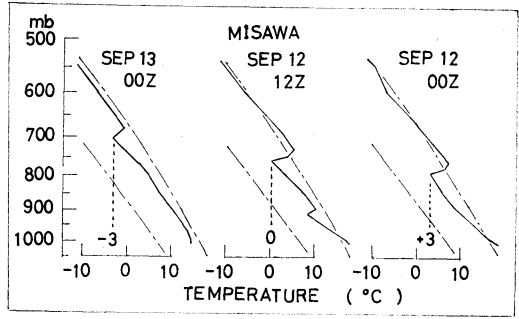
9月13日09時(00Z)の地上天気図を第1図に示す。前線が日本の南にあるが, 前線に伴う雲は前線の北200~300kmに限られるので, 口絵写真1の雲は前線によるものとは考えられない。

相当黒体温度(以下 T_{BB} という)の分布図(図省略)によると, 雲発生時の12日09時(00Z)の雲頂温度は $-2^{\circ}\sim +2^{\circ}\text{C}$ であるが雲面積の50%ぐらいは 2°C であった。雲頂温度は時間と共に下り, 06Zには 1°C 80%, 2°C 20%, 09Zには全体的に 0°C , 13日正午(03Z, 第4図)になると $-2^{\circ}\sim -3^{\circ}\text{C}$ が出現している。

三沢の高層気象状態曲線(第2図)によれば, 逆転層下面の高度は時間と共に高くなっている。 T_{BB} 分布図(図省略)と第2図を比較してみると, 雲頂温度は逆転層下面の温度にはほぼ一致していた。第3図に示す鉛直湿度分布の時間変化をみると, 一様な高湿度層の上面の高さが時間と共に増していることがわかる。この高さが,



第1図 1978年9月13日00Z, 地上天気図。

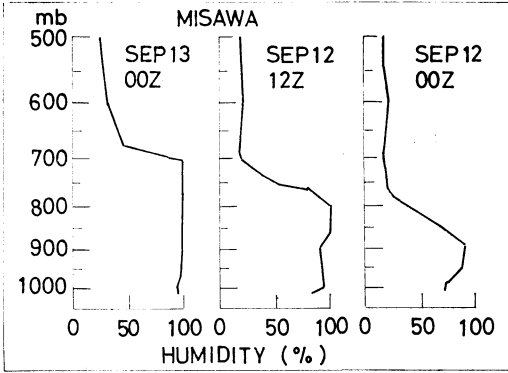


第2図 1978年9月12~13日, 三沢の鉛直温度分布。図中の数字は逆転層下面の温度。実線は温度, 一点鎖線は湿潤断熱線。

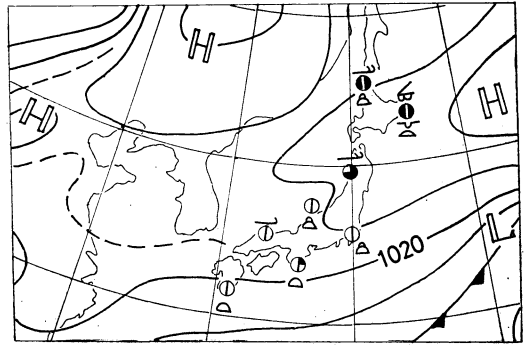
三沢の逆転層高度(第2図)にはほぼ等しいことは, 逆転層より下で対流が活発に行われた結果を示すものであろう。

次に水平的な雲頂温度分布に注目してみよう。海岸付近に発生した雲は時間と共に面積を増して, 口絵写真1にみられるように, 見かけ上面積的には定常状態を呈する。おそらく大気の流れが定常になったからであろう。そのときの温度分布の一例を第4図に示した。第4図で

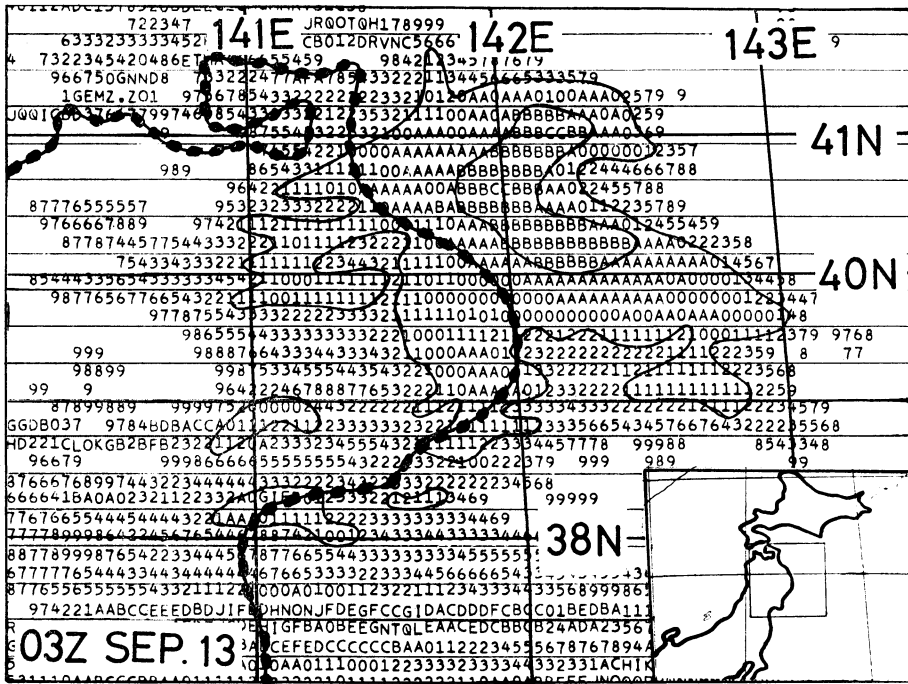
* Kiyoshi Arai, 気象衛星センター解析課。



第3図 1978年9月12~13日, 三沢の鉛直湿度分布.



第5図 1979年10月14日00Z, 地上天気図.



第4図 1978年9月13日03Z, 東北地方の雲に対する相当黒体温度分布.

使用したコードは第1表によった*. 数字は正の温度を, 英文字は負の温度を表わしている. 大気鉛直温度分布を, 100×100 km² の面積規模で一様であると仮定すると, 第4図は雲の高度分布図とみることでもできる. それ

によると, 雲頂高度は海岸で高く, 内陸に向かって低くなっていることになる.

3. 九州の例

口絵写真2は, 1979年10月14日03時(13日18Z)から3時間ごとの「ひまわり」の画像である. この日は宮崎国体の開会日であった. 第5図に10月14日09時(00Z)

* 第4図, 第6図とも印刷頁で文字が識別できるように横方向, 縦方向とも画素を2個に1個の割合で選別してある.

の地上天気図を示す。前線が日本のはるか南に南下し、日本付近は高気圧におおわれ全国的に晴れていた。しかし宮崎は朝から小雨が降り、午後は晴れ間が出た。鹿児島島の1,000 km ぐらい南に台風7920号があって、西日本の南海上にはすでに偏東風に沿うように、きわめて細い線状の雲が存在している。線状雲のひとつが足摺岬に達すると、急に幅を広げながら九州東岸に近づき、山脈の東側で数時間定常状態を呈する。その後台風の北上に伴って幅の広い帯状雲におおわれるようになり、地形による雲の発生・存在が不明瞭になる。

図示しなかったが T_{BB} の時間経過をみると、雲が海上にあるときは雲頂温度は $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 、陸地に近づくとつれて昇温して $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ となっている。 T_{BB} の水平分布の一例を第6図に示した(画素の選別は第4図と同じ)。これによると、海岸付近は 4°C で、内陸は $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ となっている。

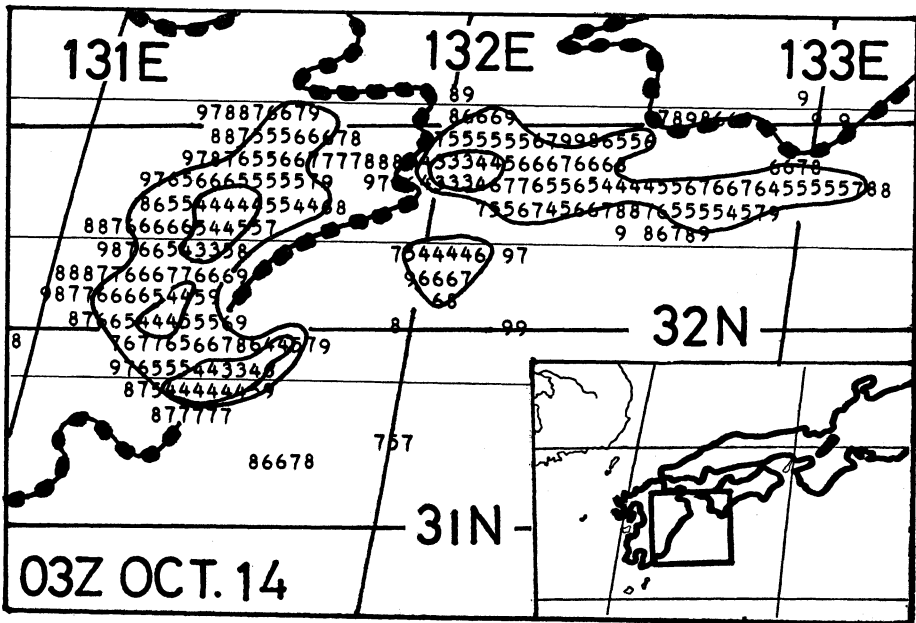
雲の発生している付近に高層観測点がないので、鹿児島の高層気象観測資料を用いて大気の状態を推定する(第7図)。

第7図によれば、逆転層の下面の温度は 6°C 、その下の対流層の平均湿度は約75%、その上は乾燥空気で構成されているとみてよいであろう。風の鉛直分布は、900 mb で最大値 20 m/s の値をもち、東北地方の場合と似た大気構造をしている。

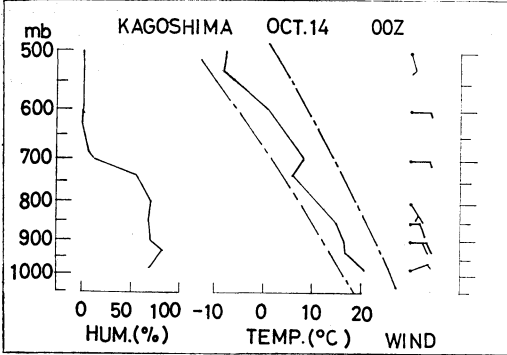
14日00 Z の T_{BB} の分布(図省略)と第7図とを比較すると、雲頂はほとんど逆転層の下面に達していたと考えられる。気温の鉛直分布の変化が空間的にも時間的に

第1表 第4図、第6図で使用した温度と文字の対応。単位は $^{\circ}\text{K}$ ($^{\circ}\text{C}$)。

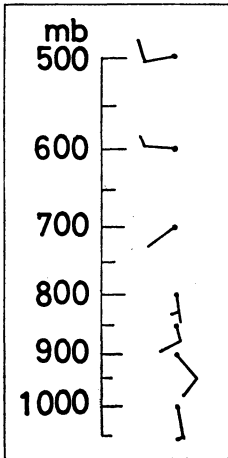
Temperature Range	Syboles
266.7 (-6.5)~267.7 (-5.5)	F
267.7 (-5.5)~268.7 (-4.5)	E
268.7 (-4.5)~269.7 (-3.5)	D
269.7 (-3.5)~270.7 (-2.5)	C
270.7 (-2.5)~271.7 (-1.5)	B
271.7 (-1.5)~272.7 (-0.5)	A
272.7 (-0.5)~273.7 (0.5)	0
273.7 (0.5)~274.7 (1.5)	1
274.7 (1.5)~275.7 (2.5)	2
275.7 (2.5)~276.7 (3.5)	3
276.7 (3.5)~277.7 (4.5)	4
277.7 (4.5)~278.7 (5.5)	5
278.7 (5.5)~279.7 (6.5)	6
279.7 (6.5)~280.7 (7.5)	7
280.7 (7.5)~281.7 (8.5)	8
281.7 (8.5)~282.7 (9.5)	9
282.7 (9.5)~283.7 (10.5)	



第6図 1979年10月14日03 Z, 九州地方の雲に対する相当黒体温度分布。



第7図 1979年10月14日00 Z, 鹿児島の高層気象の状態。左から湿度, 温度, 風の鉛直分布。風の記号は矢羽根1本が10 m/s, 半分は5 m/s, 矢羽根なしは0~2 m/s。



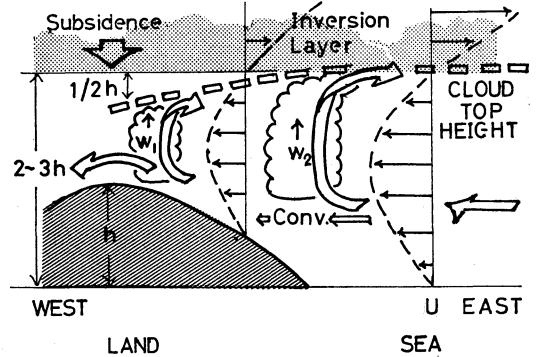
第8図 1978年9月13日00 Z, 三沢の風の鉛直分布。

も十分小さいと仮定できるならば, 第6図から, 海岸地方の雲頂高度が高いことが推論される。

4. まとめ

以上の解析結果によると, 口絵写真1, 2の雲は次の条件下で発生したと考えられる。すなわち,

- (1) 寒冷前線が南岸にあって, 日本付近は高気圧におおわれ, 地表から3 km ぐらいまでは偏東風が卓越していた(第7図, 第8図)。
- (2) 高層気象状態曲線(第2図, 第7図)によると, 気温の逆転層が高度2~3 km にあった。
- (3) その上は沈降があるらしく, 湿度2~3%で(第



第9図 2つの事例解析から導出された模式図。

3図, 第7図) 安定していた。逆転層の下の大気は湿潤で湿度は100%に近く, 安定度は条件付不安定であった。

(4) 偏東風の鉛直分布(第7図, 第8図)は, 地表と逆転層の下面ではほぼ零で, 中間(高度約1.5 km)で最大値をもっていた。

雲の変化は次のようにまとめられる。

- (1) 最初, 対流雲は海岸に発生, または海岸で急激に面積を広げる。
- (2) 雲頂温度は海岸で最も低く, 逆転層の下面の温度に等しい。また内陸に向かって高くなっている。
- (3) 口絵写真1の13日03 Zには鉄床(かなとこ)網雲が認められる。このことは雲頂の一部は逆転層をこえて, その上に達していたと考えられる。
- (4) 網雲におおわれて数時間のあいだその下層の状態が不明となるが, 網雲の通過後に再び現われることから, この種の雲の寿命は総観規模程度であろうと推定される。

以上の結果から得られる現象の模式図を第9図に示す。

5. 考察

雲が海岸に発生しやすいのは, 地表摩擦の効果と思われる。すなわち, 一般に海上より陸上のほうが大きいので, 海岸付近で水平風速の収束が生じると期待されるからである。海岸付近で雲頂温度が低く内陸に向かって高くなっていること, すなわち, 雲頂高度が傾斜していることは, 山頂付近で逆転層が低い場合と, 上昇流が内陸よりも海岸で大きい場合とが考えられる。秋田の13日00 Zの大気の状態は, 逆転層下面の気圧650 mb, 気温-1°C, 対流層の湿度は風上よりやや小さく, 80~90%であっ

た。逆転層の細部構造はわからないが、少なくとも総観的には風下側の高度が低いとは言えなかった。陸上の雲は、斜面に沿う上昇流によって維持されており、速度取

束はないとしてよいであろう。したがって雲頂温度の問題は解析の大数例によると共に、他の面からの見方も必要となろう。



J. Pedlosky 著
地球流体力学

Geophysical Fluid Dynamics Springer-Verlag, 1979,
248×170 mm, 624頁, \$39.

はしがきによると、著者がシカゴ大学の地球科学部で過去10年間に行なった講義内容をまとめたもので、流体力学を既に学んだが気象学や海洋物理学を知らない学生に対し、その分野の力学的研究を行なうのに十分な基礎知識を最短コースで与えることを意図している。

一般に、地球流体力学は大気と海洋の力学をあわせたものであるから、内容が多岐にわたる。それをいかに整理して体系的に論じるか、という点が教科書の個性をきめる。本書は、600ページを使いながら、もっぱら大気と海洋の大規模な流れの力学に焦点がしぼられている。従って、地球の自転効果が重要でない現象は扱われていない。

全体で8章から構成される。第1章<準備>では、大気と海洋の流体系の特性が述べられ、回転系における運動方程式が導かれる。第2章<基礎>では、渦度や循環に関するさまざまな定理の説明が行なわれる。第3章<非粘性の浅水理論>では、自由表面のある水路内の波と流れの性質が論じられる。回転流体に特徴的な現象——地衡流、ロスビー波など——をもっとも単純な流体系に使用して理解させる努力が行なわれる。この章の主役は、ポテンシャル渦度の保存則である。第4章<まさつと粘性流>では、レイノルズ応力と渦拡散の説明から入って、回転流体中に生じるさまざまな境界層の性質が論じられる。第5章<海水の風成大循環の密度一様モデル>は、第4章の応用で、海洋の西岸強化現象と、海洋内部の3次元的な循環構造が扱われる。第6章<球面上の密度成層流体の準地衡風運動>は本書のハイライトである。球面上上といっても、すべての現象が球座標で扱われているわけではないが、第3章の内容を連続密度成層流体に拡張して、より自然現象に近い流体系をもちいて、ポテンシャル渦度保存則から生じる大気と海洋のさ

まざまな現象が論じられる。成層圏や中間圏の大気現象に関連して最近発展のめざましい波動と一般流との相互作用の問題も扱われている。第7章<不安定理論>は、著者がもっとも得意とする傾圧不安定の性質が丁寧に述べられている。その反面、その他の不安定現象についてはほとんど触れられていない。第8章<非地衡風運動>では、7章までの章に含まれなかった重要な問題——陸棚波、沿岸湧昇、前線形成、赤道波——が取り上げられている。

本書の骨格はもちろん数式を拠所とする理論体系である。式の導出は親切で、特別な数学的才能がなくとも式を追うことができる。しかし、本書の特色は、式の導出よりもむしろその解釈と現象の物理的説明にあると思われる。著者は、MITで応用数学を学び、海水の風成大循環の力学や傾圧不安定を研究してきた理論家であるが、単に式を導くだけでは満足しないで、その物理的内容を自分で納得するまで考える人らしい。本書を个性的にしているのは、独自の見解がページを惜しまず述べられている点である（ページが多いのはそのためである）。たとえば、コリオリ力を外力と考える代りに加速度と考える。外力が与えられると、それと直角方向に加速度が生じるのである。コリオリ力の項は通常式の左辺に書くが、加速度と考えると左辺に書くのがもっとも感じがする。この種の解釈は主観的なものなので必ずしも全部納得できるわけではないが、教えられる所は非常に多い。

地球流体力学は、気象力学と重複するものでも、無関係なものでもない。いわば、気象力学への手引きといったものである。流体力学を勉強した後に地球流体力学を経て気象力学を学ぶのが自然現象に接近するわかり易い方法のように思える。同時に、海洋物理学も視野の中に入るという“おまけ”がついている。この意味で地球流体力学の真価は初等的な教科書で発揮されるはずである。小倉義光著「気象力学通論」（東大出版会）にも、地球流体力学的発想がうかがわれるが、本書の出現によって、さらに気象力学が勉強し易くなったといえるのではないだろうか。教育的な配慮も十分になされており、輪講などで大いに活用されることをのぞむ。初版のためか、ミスプリントを発見する楽しみも数多く用意されている。（木村竜治）