

## 質疑応答

質問は、東京都千代田区大手町 1-3-4, 気象庁内

日本気象学会天気編集委員会宛、どうぞ

問：フェーンするとき、暖かい軽い空気が上昇しないで、山麓まで降りれるのはなぜですか。

(関東 一会員)

答：この問題は鈴木・矢吹(1957)が指摘しているように、1931年の Ficker と Streiff-Becker の論争以来の問題であった。これに理論的緒口を作ったのは Queney (1948) と言えよう。私はここで物理像の握み易いパーセル法で答えてみようと思う。

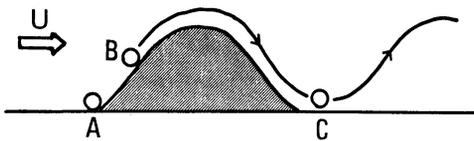
まず静的に安定な静止大気中にパーセルを考え、鉛直に微小変位を与え、乾燥断熱変化を仮定すれば、パーセルの運動方程式はつぎのように表わせる。

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \nu_b^2 z = 0$$

ただし、 $z$  は平衡点から測ったパーセルの変位、 $t$  は時間、 $\nu_b$  は Brunt-Väisälä の振動数で

$$\nu_b^2 = \frac{\Gamma_d - \Gamma}{T} g$$

と書ける。 $\Gamma_d$  は乾燥断熱減率、 $\Gamma$  は温度減率、 $T$  は周囲の温度、 $g$  は重力加速度である。安定成層を考えているのだから、パーセルは平衡点の周りに  $\tau = 2\pi/\nu$  なる周期で振動する。通常温度減率  $\Gamma = 0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$  とすれば  $\tau \approx 9$  分となり、また等温大気では  $\tau \approx 6$  分となる。すなわち安定大気においては、安定度によって5～15分の固有振動をもつことになる。



つぎに、このような安定大気が一様流  $U$  で山脈にぶつかったときのことを考える。簡単のため山の中腹にあるパーセルに着目する(図のB)。このパーセルは山に沿って強制的に上昇し、その後  $U$  で流されながら周期  $\tau$  で振動していく。したがって流線は波状をなし、その波長は  $\lambda = \tau U$  である。もし  $U = 10\text{ m/sec}$  で  $\Gamma = 0.6^\circ\text{C}/100\text{ m}$  ならば  $\lambda \approx 5.4\text{ km}$  となる。これも山脈の幅や形に無関係に、大気固有の性質から決まるもので、臨界山岳波長と呼ばれるものである。臨界山岳波長と山脈の大きさが共鳴したとき、山陰の山岳波は最も発達する。このときの第一波の谷の位置(図のC点)では、山肌に沿

て上から空気が這い降りてくることになる。かつB点の温位はC点にあった空気より温位が高いので、パーセルBがCに達すると今までより高温になる。以上が「フェーンが暖いに拘らずなぜ降りるか」の最も基本的な原理である。つるばねに吊された錘りが平衡点の周りに振動するのと同じ理である。

しかし風上側山麓のパーセルAがC点に達しても、温度は変わらない。すなわち上のような乾燥断熱変化を仮定する限り、風下山麓での温度上昇は短時間のもので、定常的なものとしては期待できない。ここに Hann の理論、すなわち風上側で凝結と降水現象が起り、風下側で乾燥断熱的に下降するという考えが生れてくるのである。もちろん、このばあいにも絶対安定であるか条件付で安定であることが必要である。

実際には降水を伴わないでもフェーンの起こることがある。これに対しては Ficker の仮説などもあったが、私はつぎのように考えている。最近の私の数値実験(荒川, 1972)によれば、静的安定度が強いほど、風速が弱いほど地表風が山(孤峯)を回る傾向が強い。そして適当な安定度、風速のとき、山陰の麓には風上の地表風が達せずに上空の空気が蔽うことになる。このばあい上空ほど温位が高いし、また一般に風速も大きいので、山陰の麓では高温の強風が吹くことになる。実際の山脈は無限に長いものでなくて、必ず縁もあるし、峠もある。したがって降水を伴わないフェーンは山の縁を回る効果を考慮して説明することができる。事実、名古屋地方の異常高温は鈴鹿山脈の個々の峯の陰で起っている。

### 文 献

- 1) 荒川正一, 1972: 日本気象学会春季大会予稿集.
- 2) Queney, P. 1948: Bull. Amer. Met. Soc. **29**, 16-26.
- 3) 鈴木清太郎・矢吹万寿, 1957: 気象研究ノート, **8**, 13-23.

(気象大学校 荒川正一)

問：上層雲と中層雲と下層雲は、どうして上下にはなれているのですか。

(気象大学校 一会員)

答：雲が幾層にもなっているモデルを最初に提案したのは Lamb (1951)<sup>1)</sup> である(図参照)。それまでは雲は前線に沿って滑昇し、下層雲から上層雲までつながっているものと考えられていた。

雲が幾層にもなるのには、2つのでき方がある。一つは、上側の雲から降雪があって、それが融解したとき、そこに 0°C の等温層をつくり、もとの雲から余り離れていない下方の不安定な気層に発生した対流雲を層状化して雲層を多重化する場合 (Atlas 1955)<sup>2)</sup> と、これらの接近した2つの雲層は一つとみなしたとき、雲が対流圏の上・中・下層に分布している場合とがある。前者に類した雲は、理由は異なるが、降雨の場合にもできる。また、後者の雲の間隔は大きく、これが、この質問の内容と思う。

下層では摩擦や対流によって上昇流がしやすいので雲が多く、このことは Jones (1960)<sup>3)</sup> が天候偵察機の資料 (3年間) を統計した値—地上付近50%, 3 km 付近20%, 9 km 付近6%—からも分る。一般に下層ではじょう乱に付ずいたもの他に摩擦層の影響によってできる雲もある。

一方、大気大循環の過程でできるジェット気流の付近 (この他の正うず度移流域) では鉛直流が大きく、ある場合にはジェット気流の南側では厚い Cs, ジェット核の近くではうすい Ci もできる。ただし、後者の Ci は上昇流がなくてもできるものもある。

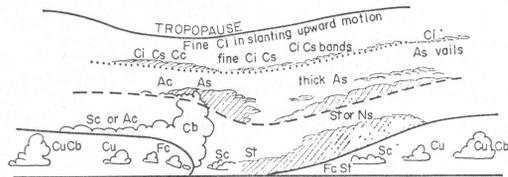


上層における雲の多重構造 (1968年7月10日09時20分, FL 7.6 km 高松上空)。手前の対流雲の雲底は 5.2 km, 飛行高度の上には Cs があり, 対流圏上部だけでも2つの層をなしている。

雲が幾層にもできる時は大抵、下層にはじょう乱があり、しかもジェット気流もその近くにあるから、上層雲と下層雲は同時に存在しやすいことは理解できる。

次に、中層雲の発生には前線と、ジェット気流の下降流によって誘起された 500 mb 付近の安定層の影響を考

える。普通は地上付近の前線面の高さは 3~4 km までで、それより上の安定層は別のものであることが多い。中層の前線面上で上昇流があると As に対流雲が加わり、下降流があると寒気内の雲しかない。後者の安定層の下部には不安定な気層中の対流雲が層状化してできた、うすい Ac もある。また、この他に前線がなくてできる層状雲もある。



Lamb の低気圧付近の雲のモデル。太い実線は前線面および圏界面、太い破線、点線は安定層を示す。

以上のように考えると、おおよそ対流圏には三つの層の雲ができてよきそうである。ただし、対流雲や層状雲による強い雨があると、これらの層の雲はつながって一つになる。

以上の説明は極めて粗雑であるが、Arnason が数日間にわたって上昇・下降流を計算したのものによると上昇・下降流は層別に分布している。ただし、発生高度、鉛直流の符号は日々変わり、しかも上昇流域が三つ存在するとは限らない。このことは Jones の統計で下層を除いては雲の発生しやすい特定の高度の存在しないことと一致する。

また、Abdudullah (1967)<sup>4)</sup> は圧縮性の2層大気を考え、下側は一定の温度減率、上側は等温層として計算した結果、内部重力波の位相速度によっては上昇流の極大が三つ現われることを示した。この他、三浦 (1970)<sup>5)</sup> の報告もある。

(注) この質問の理由は本当のことはまだ分っていない。よい答をお持ちの方はお教え下さい。

文献

- 1) Met. Magazine. **80**, No. 945, 65-71.
- 2) 5th Weather Radar Conf. 321-326.
- 3) Quart, J. R. Met. **86**, 65-71.
- 4) Month. Weath. Review. **95**, 189-197.
- 5) 東京管区気象台研究会誌. No. **3**, 99.

(東京管区気象台 中山 章)