

## 海上の雲の航空写真による解析, II\*

(駒おとし映画による雲の水平速度の決定)

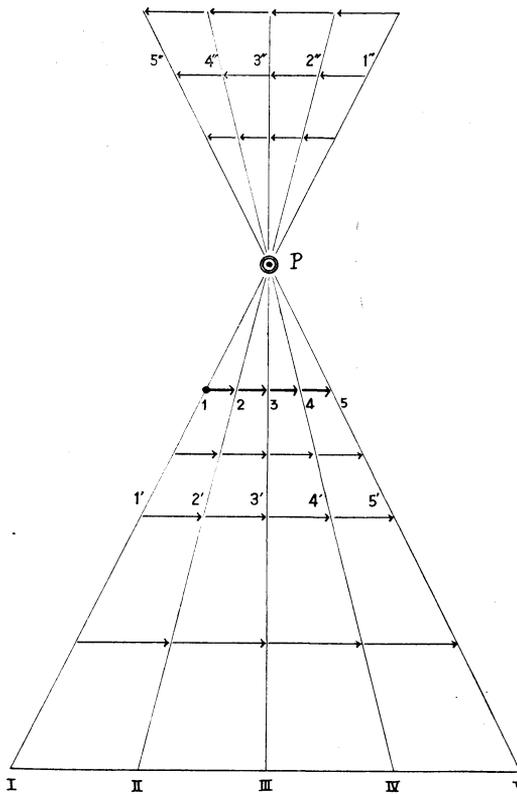
孫 野 長 治\*\*

**要旨:** 航空機を用いて雲の連続写真をとって、刻々の雲の位置を定め、これから雲の移動速度を求める方法を探した。その結果、航空機が加速状態、旋回中及び上昇または下降時に雲の移動速度を求める可能性のあることを紹介する。

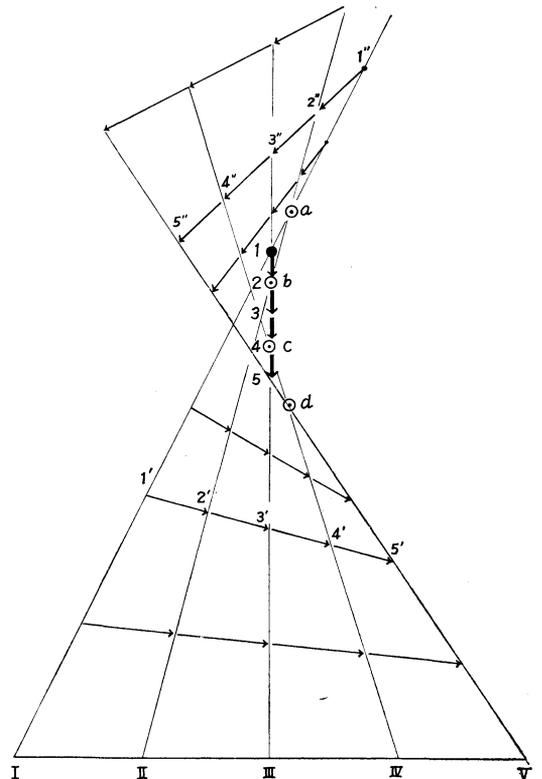
ま え が き

撮影に使った航空機の水平速度がわかっておれば、雲

の連続写真を利用して、撮影位置の変化による雲の方位の変化から、雲の寸法や配置を解析することができる



第1図(a) 雲の移動が航路に平行な場合



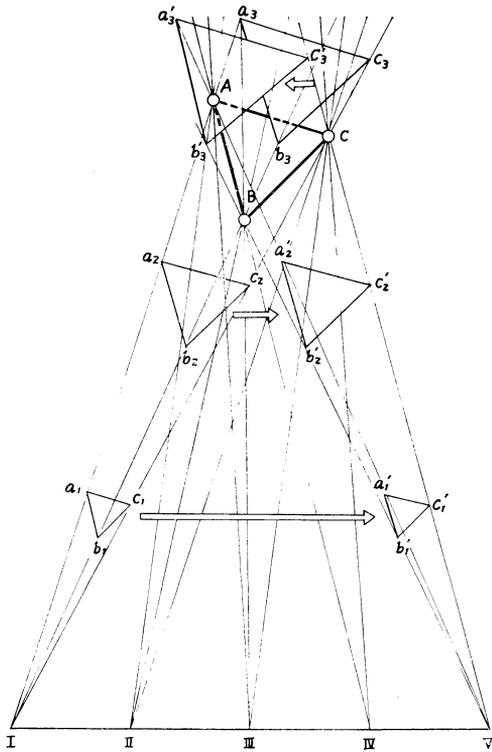
第2図(b) 雲の移動が航路に直角な場合

\* Analyzing methods of clouds over the sea by means of aerophotographs, II  
(Determination of horizontal velocity of clouds by means of continuous pictures by a time-lapse movie camera)

\*\* Choji Magono, 北海道大学理学部  
—1966年7月15日受理—

考えられる。しかし、これは雲が連続撮影の間に移動しないという前提にたっている。この前提は雲の移動速度が航空機の速度に比べて無視できるくらいに小さい時だけしか成立しない。

ここで逆に雲のみかけの位置の変化から逆に雲の移動速度が推定できはしないかと試みたのが本論文の主目的



第2図 雲に奥行のある場合

である。簡単のために雲が水平等速度で移動する場合について雲速決定の可能性を考えてみた。

1. 航空機が雲と同高度で水平等速運動をしている場合

1 a. 雲の移動が航空機の航路と平行の場合

第1 a図の下端にみられるように航空機が, I, II, III, …… Vと飛行しながら等時間間隔で, 同高度で平行に移動する雲1, 2, 3, …… 5を撮影したとすれば, 航空機からみた雲の方向は (I, 1), (II, 2), (III, 3), …… (V, 5)を結んだ直線上すなわち点Pに集ってみえる。みかけ上, 雲は静止してみえるので雲の速度も位置も決定できない筈である。しかし, みかけの雲の位置が連続写真において一点に静止している場合は, 雲が航空機の航路に対して平行に等速(速度ゼロを含む)運動をしている証拠になるだけであり雲が静止しているように見えても静止の証拠にはならない。

1 b. 雲の移動が航路に平行しない場合

一例として雲が航路に直角に近づいて来る場合を第1 b図に示す。航路をI, II, III, …… Vとし, これと同時に時刻の雲の位置を太い実線矢印群の1, 2, 3, …… 5とすれ

ば, 各時刻における雲のみかけの位置は●印のa, b, c, …… dとなる。仮にこれらのa, b, c, dの位置が得られた場合に, 雲が等速度という条件(矢印の長さが等しい直線)を満足する雲の位置は1', 2', 3', …… 5'や1'', 2'', 3'', …… 5''の如く無数の解があるので, 雲の速度も位置も決定することができない。何等かの方向で雲の速さまたは移動方向がわかっておれば別である。しかし雲のみかけの位置が航路に近づいて来れば, 少なくとも雲が航路に近づく成分を持っていた証拠にはなる。

1 c. 雲の奥行を考慮した場合

これまでは雲の位置を1点と考えたが, 航空機からみて雲に奥行きを考えた場合, たとえば第2図に示すように雲が変形しないでその中の3点a1, b1, c1が航路に平行に等速度運動をした場合に, 航空機からみれば運動中の3点a, b, cがすべて3点A, B, Cに静止しているように見えることは1点の場合と同様である。またこの場合の雲の速度の解としては無数にあり, たとえばΔa2b2c2が右に移動した。ともあれ, 逆にΔa3b3c3が左に移動したとも解釈され, また前記のようにΔABCが静止しているともとれる。

要するに水平等速度運動をしている雲を同じ高度で等速度飛行をしている航空機から測定することは原理的に不可能である。ただ雲が航路に近づきつつあるか遠ざかりつつあるかが判定され, また雲が航路に対して平行運動(静止を含め)しているかどうかを判定できるに過ぎない。

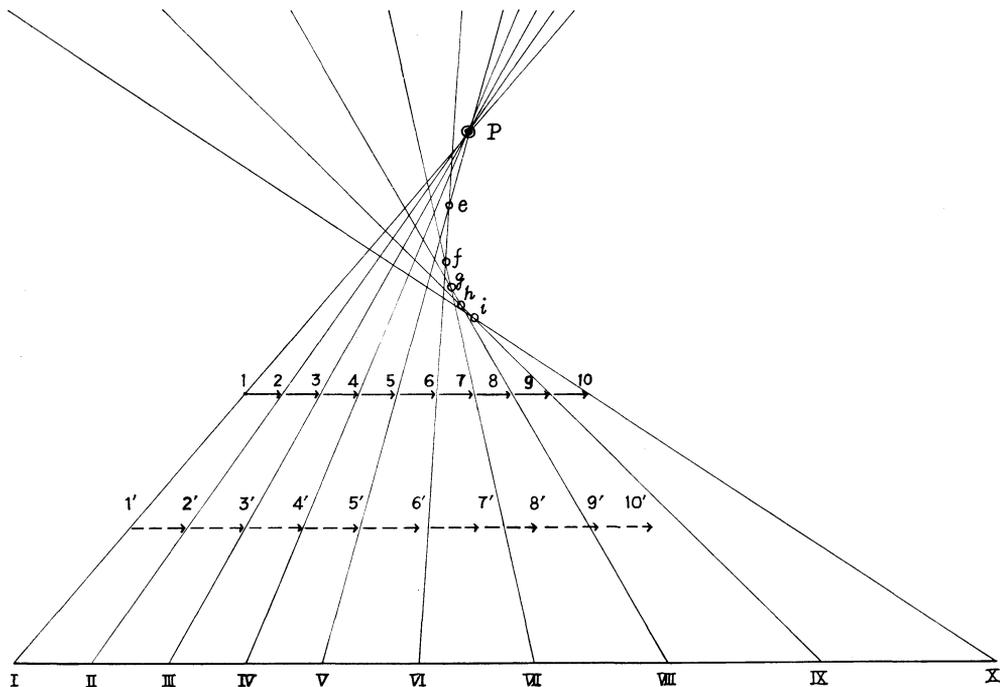
2. 航空機が水平加速度運動をする場合

2 a. 加速直線飛行の場合

第3図に示すように航空機がIからVの位置までは等速飛行をおこない, Vから後は加速度飛行をする場合に, 航路に平行に1, 2, 3, …… 10と等速度移動をする雲のみかけの位置は前半の5の位置まではP点に静止するようにみえ, それ以後はP, e, f, …… iと近づいてくるようにみえる。最初のみかけの位置が静止していることから, この雲は最初は航路に平行に運動していたことが明かなので, その前提で雲の真の位置と動きを求めてみよう。

たとえば破線の等しい長さの矢印の直線群1', 2', 3', …… 10'と仮定してみると5以後は等速度にならない。したがって解は実線の矢印の直線群1, 2, 3, …… 10しかないことになるので, 雲の位置と速度が決定できることになる。

2 b. 航路の方向が変化する場合



第3図 航空機が加速される場合

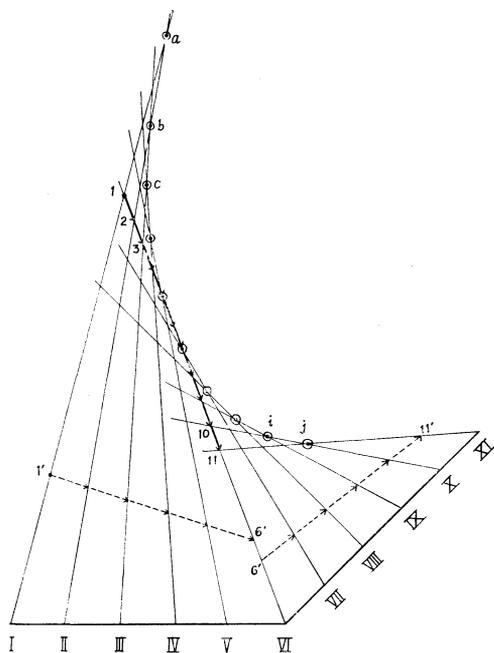
航空機が等速ではあるけれども第4図で示すようにVIの位置で方向を変えた場合に、実線の矢印群 1, 2, 3, …, 11 と等速運動をする雲のみかけの位置は●印の曲線 a, b, c, …, j となる筈である。いま雲が等速運動をしていると云う前提で解を求めてみよう。すると例えば矢印の長さを等しくなる方向は 1', 2', 3', …, 5' と 6', 7', 8', …, 11' と 2本だけ得られるが、この2本は 5' と 6' の点でくい違い、方向も異なるので雲が終始等速で直線運動をしていたと云う前提に合致しない。結局 1, 2, 3, …, 11 が唯一の解となるので雲の速度も位置も求まることになる。

観測中に航空機が加速したり方向を変えることは通常は避けたいのであるが、雲が動いている場合には反って好都合である。

3. 航空機と雲の高度が異なる場合

3a. 飛行高度が一定の場合

航空機自体が、その高度の風によって流されるので、偏角を測ることによって航空機の高度の風速を決定することが出来る。雲速と風速は大体一致するので、したがって航空機と同高度の雲の速度を強いて雲の連続写真から求める必要はない。重要なのは航空機から見下ろした雲の速度の決定である。



第4図 航空機が方向を変える場合



には測定系統のどこかで対地速度の決定が入用になる。ドップラーレーダーを備えた航空機ならば問題はない。というのはドップラーレーダーの対地速度の誤差は1%として5 mile/hour であるから時速数十哩で移動する雲の測定は可能である。またこの種のレーダーを備えた航空機では刻々の偏流角も測器盤に表示されるようになっている。

ドップラーレーダーのない航空機では対空気速度と、その高度の風速からベクトル式に対地速度を求めることになるが、この場合に風速決定の精度がそのまま対地速度の精度になるので、雲速決定の目的からみて致命的な誤差を生じかねない。たとえば風向が機首の方向と平行せず、しかも風速に変動の多い場合は航空機の対地速度の誤差が雲の移動速度よりも大きくなって測定が無意味になる恐れがある。

#### 4.2 航空機の揺首 (Yawing)

航空機のピッチングやローリングは直接的な誤差の原因にならないが、機首の左右振動 (ヨーイング) は雲の

水平方位角に直接影響する。ところが機首の方向を刻々に記録できない場合は、連続写真を10枚くらい使って平均で論ずる方が無難である。

#### 結 言 と 謝 辞

航空機からの雲の連続写真を使って雲を解析する場合には、始めから雲は移動しないものと仮定され、雲の移動速度を測ろうなどとは考えられないようである。しかし雲の移動速度が2,30m/sec 以上になれば測定の可能性があり、この場合、通常の航空測量では嫌われる条件、すなわち航空機の加速時、方向転換または上昇、下降時の方が反って有利なことを証明した。

本論文をまとめるにあたって大学院学生の葛西俊之君に手伝って頂いた。記して深く感謝する。本研究の費用は日本学術振興会より支弁された。

#### 参 考 文 献

孫野長治, 葛西俊之, 1966: 海上の雲の航空写真による解析, I (雲の高度の決定) 天気, 12巻。

(374頁より)

#### 6. 仙台におけるレーウィンによる低層風の解析:

村上 博 (仙台管区气象台)

地上から1500mまでの風の特性を調査するため、昭和35年にレーウィンによって6秒(約40m)毎の高層風の観測を実施したところ、つぎのようなことがわかった。

- (1) 海風の高さ(平均) 09時...600m  
15時...700m  
陸風の高さ(平均) 03時...300m  
21時...280m
- (2) 北東風の高さは約1000mである。
- (3) 風速の断面図で100m~200mに“nose”が観測されたことがあった。気温又は湿度の逆転に関係があるようである。

#### 7. 放球塔の風洞実験について: 中村 繁・五月女敬太郎 (高層線)

強風下の放球を容易ならしめる一方法として放球塔が考えられる。その形状について色々アイデアがあるがそれによる風の流れの形についてはよく知られていな

い。

2, 3の形について風洞実験をした結果を報告する。またこの実験以前に考えたエア・カーテンの応用についても触れてみたい。

#### 8. ソンデ落下点の推定について: 三浦四郎 (高層気象台)

ゾンデの落下点を簡単に推定する方法の一つとしてはBB高度までの気層を何層かに分けると、落下による各層の水平距離は上昇速度と落下速度の比で表わされる。この場合、落下速度はBB直後を除いて、terminal velocity と考えてよいので、抵抗係数を実測から求めた。また、下層で落下速度が速くなる傾向が見られるのは捨得したゾンデを見ると例外なくパラシュートの紐が巻きつき、パラシュートの効果を弱めるものと考えられる。

#### 9. air curtain 式放球塔について: 中村則行 (高層気象台)

強風下、放球塔より放球するさい、ゾンデが塔縁に衝突破壊されることを防ぐとともに、短時間にゾンデの飛揚高度を増大させるため、放球塔上縁の“ノズル”より圧縮空気を噴出せしめようとするものである。