

衛星の天頂角による雲位置の誤差

鴨 志 田 章\*

1. はじめに

静止気象衛星 GMS は、東経 140 度の赤道上空、約 35,800 km の静止軌道にある。このため、衛星直下点を除き、雲をななめ上方から見下ろすことになり、観測される個々の雲は衛星画像上では衛星と反対方向にずれた地表上に投影される。この雲の位置ずれを、衛星天頂角による雲位置の誤差と呼ぶことにする。

この雲位置の誤差は、雲の高度に比例すると同時に、雲の存在する位置と衛星直下点との大圏距離が増すと共に増大する。後述するように、この誤差は雲の高度が 16 km (ほぼ圏界面高度に相当) の場合、日本付近で 10~20 km 程度であり、大規模現象を取り扱う場合には問題にならない量であるが、背の高い雲を伴った局地現象の解析や、台風を中心位置の決定に際しては、影響を及ぼす可能性があると考えられる。

ここでは、衛星天頂角による雲位置の誤差の分布と、その台風中心位置決定に及ぼす影響について述べる。

2. 衛星天頂角による雲位置の誤差

第 3 図に、衛星天頂角とそれに伴う雲位置の誤差の関係を示す。地球上の B の上空、高度  $h$  の雲 C は、A の上空 H にある衛星 G により撮影された画像上では、C' に投影される。AB を通る大円の B における接線方向に  $\eta$  軸をとり、その方向を衛星と反対の向きにとる。

衛星天頂角による雲位置の誤差は、向きは  $\eta$  軸方向であり、その大きさは、

$$\eta = h \tan \alpha \tag{1}$$

で表わされる。 $\alpha$  は衛星天頂角である。地球の半径を  $R$ 、衛星の高度を  $H$ 、 $\angle AOB$  を  $\gamma$  とすれば、

$$\tan \alpha = \sin \gamma / [\cos \gamma - R / (R + H)] \tag{2}$$

さらに、 $\gamma$  は雲の位置の緯度を  $\varphi$ 、(東経 - 140) を  $\theta$  と

すると、

$$\cos \gamma = \cos \varphi \cos \theta \tag{3}$$

により求まる。一方、誤差の方位角  $\beta$ 、すなわち  $\eta$  軸の子午線となす角は、

$$\tan \beta = \tan \theta / \sin \varphi$$

で表わされる。

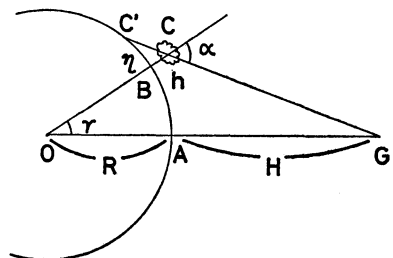
以上により求められた衛星天頂角による雲位置の誤差の分布を、雲の高度 16 km の場合について第 4 図および第 5 図に示す。

3. 衛星天頂角による雲位置の誤差が、台風中心位置の決定に及ぼす影響

次に、衛星天頂角による雲位置の誤差が、台風の中心位置決定に及ぼす影響を調べる為に、まず赤外画像と可視画像により決定された台風中心位置の比較を行ない、続いて、台風偵察機により観測された台風中心位置と衛星画像による中心位置の比較を行なった。

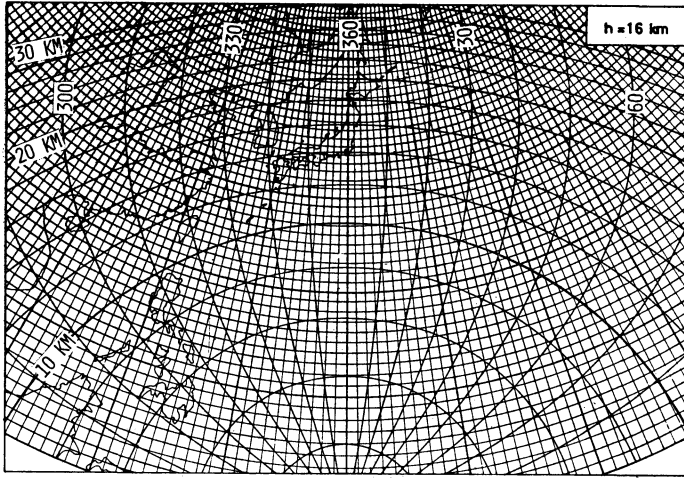
3.1. 台風 7920 TIP の例

台風 7920 TIP は、台風観測史上で最低の中心気圧 (870 mb) が観測されたことと、10月19日に本州から北



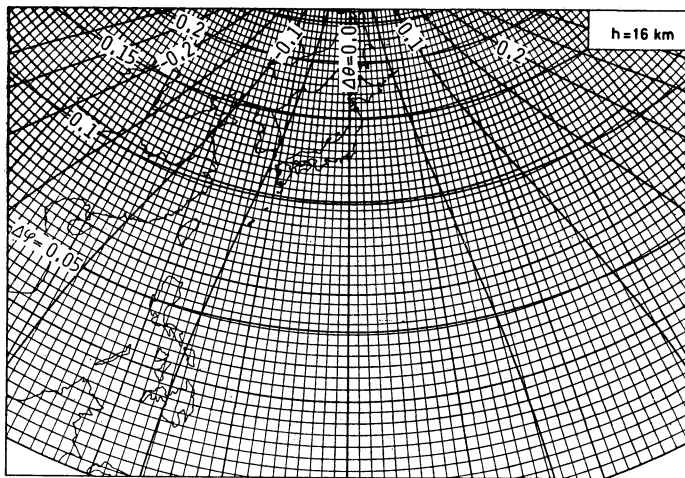
第 3 図 衛星天頂角  $\alpha$  と雲位置の誤差  $\eta$  との関係。G を衛星の位置とすると、B の上空の高度  $h$  にある雲 C は、衛星画像上では C' に投影される。O : 地球の中心, R : 地球半径, H : 衛星高度。

\* Akira Kamoshida, 気象衛星センター解析課



第4図 衛星天頂角による雲位置の誤差.

雲の高度 16 km の場合における誤差の大きさ (km) と方位角を示す.



第5図 衛星天頂角による雲位置の誤差.

雲の高度 16 km の場合における緯度誤差 ( $\Delta\phi$ ) と経度誤差 ( $\Delta\theta$ ) を示す.

海道を縦断したことで記憶に新しい台風である。この台風は、10月6日、カロリン諸島付近に発生し、10月9日頃から急速に発達し始め、10月12日03Zから06Zにかけて870 mb という史上最低の中心気圧を記録した。口絵第1図 a および b は、その10月12日06Zの赤外および可視画像である。赤外画像では、直径約300 km の十分に組織化された CDO (Central Dense Overcast) の中央に直径約30 km の円形のはっきりした眼が見られ、眼の内部は、はっきりとした高温域となっている。一方、可

視画像を見ると、眼の内部にも下層雲があり（飛行機観測では眼の内部は雲量7/8の積雲）、この下層雲が弧状のバンド構造をしているのがわかる。また、南西から射す太陽光線により一部日陰になった、北半分の eye wall の側面が見えることから、眼を斜め上方から見下ろしていることがよくわかる。

赤外画像から決定した eye wall の中心位置は、可視画像により眼の内部の下層雲の走向から決定した中心位置よりも約8 km 北西方向にある。この位置における衛

星天頂角は約20度で、衛星天頂角による雲位置の誤差は、雲頂高度を16kmとして（この画像の雲頂高度測定による CDO 内の雲頂高度は 16.5 km である）350 度方向に約 6 km である。このことから、赤外画像と可視画像との台風中心位置のずれは、ほぼ衛星天頂角による雲位置の誤差として説明できる。（すなわち、この場合下層雲の循環中心が eye wall のほぼ中心に位置していると見られる。）

3.2. 台風 7919 SARAH の例

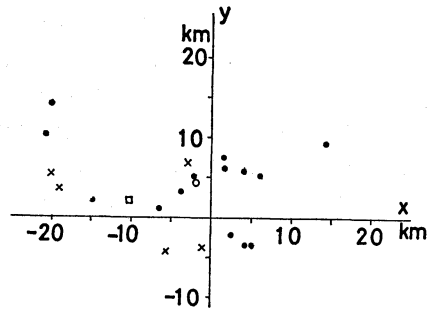
台風 7919 SARAH は、10月4日南シナ海に発生した後、10月10日の夜に最低中心気圧 925 mb を記録した。口絵第 2 図 a および b は、その直前の10月10日06Z の赤外および可視画像で、この時点の中心気圧は 930 mb であった。

赤外画像を見ると、第 1 図より小型な CDO の中にはっきりした直径約 25 km の円形の眼が認められる。また、可視画像では第 1 図と同様に眼の内部に下層雲が見られ、さらに眼の南東部分には円形の雲のない領域があるが、その一部が eye wall に隠されていて見えない。この円形の中心が下層の循環中心であると思われる。この地点での衛星天頂角は約31度であるため、第 1 図の場合よりいっそう明瞭に衛星の天頂角による雲位置の誤差がわかる。この位置での誤差は、雲頂高度 16 km の場合、295 度方向に約 10 km である。赤外画像による eye wall の中心と、可視画像による下層雲の循環中心とのずれは、西北西に約 12km であることから、この場合も衛星天頂角による雲位置の誤差とほぼ等しい。

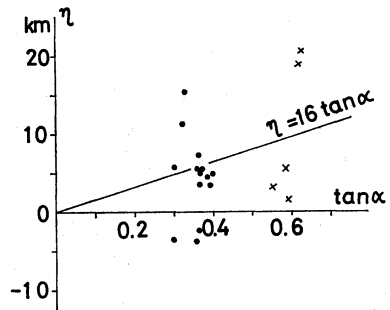
3.3. 飛行機観測との比較

次に、衛星天頂角による雲位置の誤差が、台風の中心位置決定に与える影響を統計的に調べる為に、衛星画像による台風中心位置と、台風偵察機により観測された台風中心位置との比較を行なった。対象とした台風は、前記の台風 7920 と台風 7919 で、赤外画像ではっきり眼が見えて台風中心位置が精度よく決定できる期間を選んだ。この期間は、台風7920では10月10日早朝から10月14日の日中までで、この間に14回の飛行機観測が行なわれた。台風 7919 では 10 月 9 日の朝から10月11日午後までで、この間に 5 回の飛行機観測が行なわれた。調査方法は、3 時間毎の衛星画像から得られた台風中心位置から、飛行機の観測時刻に対応する位置を内挿によって求め、これと飛行機により観測された台風中心位置を比較した。なお、衛星画像による台風中心位置は、全て赤外画像上の円形の眼の中心位置を用いた。

1980年1月



第 6 図 衛星画像による台風中心位置の飛行機による観測位置からのずれ (y は北方向, x は東方向).  
 ・は台風7920, ○は台風7920のずれの分布中心,  
 ×は台風7919, □は台風7919のずれの分布中心.



第 7 図 第 5 図のずれの η 方向成分.  
 α は台風中心における衛星天頂角. ・は台風 7920,  
 ×は台風 7919, 斜めの直線は 16 km の高度の雲に  
 対する衛星天頂角による雲位置のずれを示す.

第 6 図は、衛星画像から求めた台風中心位置の、飛行機観測による台風中心位置からのずれの分布図である。x は東方向, y は北方向, ・は台風7920, ×は台風7919 を表わす。

この図を見てわかることは、ずれの分布中心からのばらつき標準偏差は 5~10km であるが（この付近における IR 画像の分解能は約 4.5 km であり、さらにシステム誤差も見積もる必要がある）、ずれの分布の中心は、台風 7920 では 336 度方向に 4.8 km, 台風 7919 では 280 度方向に 10.5 km で、ほぼ前に述べた衛星天頂角による雲位置の誤差と一致している。

この関係をもう少し詳しく見るために、前記の衛星画像と飛行機観測による台風中心位置のずれの η 軸方向の成分と衛星天頂角 α との関係を調べてみた。((1),

(2), (3) 式参照).

第7図に $\eta$ と $\tan \alpha$ の分布図を示す。これを見ると、 $\eta$ 方向のばらつきは大きい(標準偏差5.9km)が、明らかに $\eta$ と $\tan \alpha$ は正相関にある。斜めの直線は、(1)式より求めた衛星天頂角と雲の高度16kmにおける雲位置の誤差との関係を示しているが、各点はほぼこの直線を中心に分布しているように見える。 $\eta$ と $\tan \alpha$ との相関

係数は0.43で、標本数19に対してぎりぎり有意な正相関にあると判断される。

以上のことから、赤外画像を用いて台風中心位置を測定する場合、衛星天頂角による雲位置の誤差が影響することが明らかであり、赤外画像のみによりeye wallの中心から台風中心位置を決定する場合には、衛星天頂角に関する補正が必要である。



大気環境の科学 4

### 気候変動

山本義一 編

東京大学出版会, A 5版, 1979,  
206頁, 2800円

この数年来、異常気象とか気候変動とか、さかんにマスメディアをにぎわし、氷河期来たる、いや灼熱地獄突入と全く逆の推理が入り雑り、食傷気味になっている。しかし底を探ってみると、気候変動のお話を興味深く紹介する人は多いが、現実にもその問題に取り組んでいる研究者は極めて少ないことがわかる。この十数年間の気象学会大会での研究発表の傾向をみても、わずか半日の気候のセッションを維持するのに汲々としている心細い状態である。記述的で分類的な気候学の一側面が強調されたため、生きた研究対象としての魅力を欠いたことも一因であろう。

ところで、冒頭に触れた異常天候ブームは故なくして起こったわけではない。冷静な考察からでも、気候と人間活動のかかわり合いは来たるべき2000年をめぐる好ましくない事態を招く可能性が強まっているのであり、昨年2月開催された世界気候会議では、これに対処すべき方策を探ることの緊急性が強調され、5月の第8回WMO総会において世界気候計画(WCP)の実施が決議された。広い視野に立っての気候の変化と変動、それらと人間社会との相互作用の解明、さらに進んで気候予測の問題が強く要請されることとなった。地球環境を対象とする科学者の背に、ずっしりと重い荷物が与えられたのである。

5巻から成る「大気環境の科学」シリーズの出版は時宜を得たもので、上記のような学際的な研究活動の強力な促進剤の役割りを果たすこととなろう。第4巻はこの流れに沿い、新しい観点から気候変動の問題を取り上げた最初のものと言える。7人の著者の合作であり三つ

の章から成っている。第1章は、過去の気候のサーベイとその変動の要因について述べてある。氷期・後氷期の気候につき吉野正敏が、観測時代の気候と気候変動の要因につき山元龍一郎が執筆しているが、コンパクトにまとめられているので知識の整理に便利である。第2章は、最近強い関心を引いている人間活動の気候へのインパクトの問題が山本義一により取り上げられている。炭酸ガス、フロン、窒素酸化物やエアロゾル増加の影響や森林破壊に伴う砂漠化をめぐる論議を適切に紹介し、今後の研究の方向を提示している。第3章は、気候およびその変化のメカニズムの研究のための強力な手法として発展しつつある気候モデルについて、岸保勘三郎(力学モデル)、田中正之(熱平衡モデル)と武田喬男(水循環モデル)の3氏が分担している。その力点の置きどころがそれぞれ異なっているので全体としてのまとまりを欠いてはいるが、かえって読みごたえがある。岸保は、決定論的予報限界を超える時必要となる確率的力学的モデルの基礎や、敏感度実験で必要となる雑音と信号の問題についての一端を明解に紹介し、田中は、熱平衡モデルの代表としてBudyko-Sellers型モデルを選び、アルビード・気温のフィードバック機構を焦点として熱平衡モデルの特性をやや詳しく述べ、武田は、気候システムにおける水循環の重要性を強調すると共に、水循環のパラメタリゼーションの困難性を警告している。第3章にはこの外に、廣田勇の気候変動論序説が載せられている。気候の変動を安定状態のまわりの振動と安定平衡解同士の遷移とに識別する必要性を強調する短文であるが、例によってピリリと辛い味がする。

本書はいままでで紹介からわかるように、決して気候変動論を系統的に述べた総合解説書ではない。新しい見地から今後の気候変動の研究の方向を示唆することに重点を置いており、この方向の研究を志す研究者にとって貴重な書となろう。(片山 昭)