



Title	ランドサットの雲画像とレーダエコーの対比
Author(s)	遠藤, 辰雄; ENDOH, Tatsuo; 高橋, 庸哉 他
Citation	低温科学. 物理篇, 45, 121-131
Issue Date	1987-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18542
Type	departmental bulletin paper
File Information	45_p121-131.pdf



ランドサットの雲画像とレーダエコーの対比*

遠藤辰雄

(低温科学研究所)

高橋庸哉

(札幌市青少年科学館)

(昭和61年11月受理)

I. 緒言

冬期、季節風によって日本海上で発生する降雪雲が到来するが、これが海上から石狩平野へ侵入するときに、最も発達し、上陸後に大量の降雪をもたらすことが知られている。この変質の過程を解明するためには降雪エコーとその周辺の雲の分布を同時に比較する必要がある。

衛星による可視や赤外の雲の形状や水平的な広がり等と、これと地上観測による降水域やレーダによる降水エコーと対比するとき、雲の画像は雲粒(微水滴)や氷晶(細かい氷結晶)の存在と広がりを示し、これが降水過程の出発を意味するのに対し、降水エコーや地上の降水域および降水量等は降水過程の最終的な生産物(結果)であるので、それら相互の対比を調べることが一連の降水のライフサイクルを追跡することにあたり、この比較は重要である。

気象衛星の雲画像とレーダエコーとの相関を調べた研究は、これまでも多くあり、例えば小平・立平¹⁾や岡林²⁾、Tsuchiya and Fujita³⁾、Reynolds and Smith⁴⁾、Heymsfield et al.^{5,6)}などがある。

ところが静止衛星GMS「ひまわり」や軌道衛星NOAAなどの気象衛星による雲画像は雲の微物理学的構造やメソスケールの解析を行うには、その現象のスケールに対する分解能の点で、余りにかけ離れている難点がある。しかるにランドサットによって得られる雲画像のスケールと分解能は気象用レーダによって得られる降水エコーなどメソスケール(数kmから数10km)の擾乱と対比する上で最適である。しかしランドサットは元来、雲など気象現象のように動きの速いものを対照としていないため、その同一地点の観測頻度が極めて低く、このため、この様な試みが余り進められていなかったものと考えられる。

しかし撮影頻度は低くても得られた画像の分解能が高いことを利用して気象の分野では煙の拡散などの研究には活用された例があり、Lyons and Pease⁷⁾、やMekler et al.⁸⁾、Viswandham and Torsani⁹⁾などによってこれが行われている。

我が国は気象の変化が激しく、日本全国が快晴ということは極めてまれである。したがってランドサットの画像には雲があるため本来の目的に供されない画像が多くあるので、それら

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2914号

の再開発も含めて、たとえ稀少な例であっても、試験的に他の気象観測との比較を試みることから、この種のリモートセンシング情報の有用性の限界も調べてみることにした。

そこで我々はランドサットから得られた雲画像と、それと同時に観測されたレーダエコーとの比較を試み、得られた冬期間の三例について以下に報告する。

II. 観測方法

レーダエコーを同時に得られること、さらに他の気象要素の情報の入手が容易であることなどから考えて、観測範囲はパスロウ番号 116-30 を選んだ (ランドサット 4 号についてはパス 116 が 108 になっている)。

この地域で入手出来る降水エコーを撮るレーダは数台あるが、観測時刻の一致しているものは余りなく、結局、札幌市青少年科学館のレーダエコーとの対比を行った。

ランドサット 4 号は 16 日周期で地球を一周するので、同じパスロウ番号については 1 カ月に 1~2 回の割合でデータが得られるはずである。しかし地上局の休日と重なることもあるので実際にはさらにデータを得る機会は少ない。

そのうちレーダエコーとして降水が認められた日となるとまた限られてくる。ランドサット 4 号がパスロウ番号 108-30 で札幌近郊を撮影するのは 09 時 50 分頃でしかも、予めその日がわかっているのだから、この時刻に正確に合わせて、レーダの PPI 画像のディスプレイを直接写真撮影した。

解析はランドサット画像写真 (縮率 100 万分の 1) にレーダエコー写真を重ね合わせることにによって行った。静止気象衛星「ひまわり」では、高緯度になると地球の曲率の影響のために座標変換を施す必要があるが、ランドサットではその必要がないのが、利点の一つである。

ランドサット 4 号及びレーダの諸元は次の通りである。

II-1. ランドサット 4 号

ランドサットは高度約 900 km を飛びながら札幌近郊上空 (Path 108 Row 30) を 16 日間に 1 回の割合で通過する。ここで使われた画像は多重スペクトル放射計 (MSS) を用いたもので軌道に垂直に約 185 km の幅で地表を連続的に走査して得られる。

MSS には波長によって次の 5 バンドがある。

- バンド 4: 0.5~0.6 μm (可視)
- バンド 5: 0.6~0.7 μm (可視)
- バンド 6: 0.7~0.8 μm (近赤外)
- バンド 7: 0.8~1.1 μm (近赤外)
- バンド 8: 10.4~12.6 μm (赤外)

バンド 4 から 7 の波長では地球または雲からの熱放射の割合は小さく、それからの太陽光の反射に依っている (Schott and Henderson-Sellers¹⁰⁾)。尚、バンド 8 は故障のため、データが得られていない。バンド 4~7 では、波長が短いほど、薄い雲やエアロゾルの影響を受けやすく、比較的コントラストが低く、逆に長いほど大気中の散乱の影響が小さく、雲の外形が少し小さく見える。また、バンド 4, 5 は可視光であるから、画像の濃淡は人間の視覚と矛盾し

ない(宇宙開発事業団地球観測センター¹¹⁾)。

II-2. レーダー

レーダは札幌市青少年科学館(札幌市の東南端, 北緯 $43^{\circ}02'01''$, 東経 $141^{\circ}28'33''$)にあり, アンテナ高は 51 m である。

波長 3.2 cm, 尖頭出力 40 kW で, おおよそ 100 km の範囲をカバーしている。また, 地形エコー消去 (Moving Target Indicator) と距離補正を行っている。

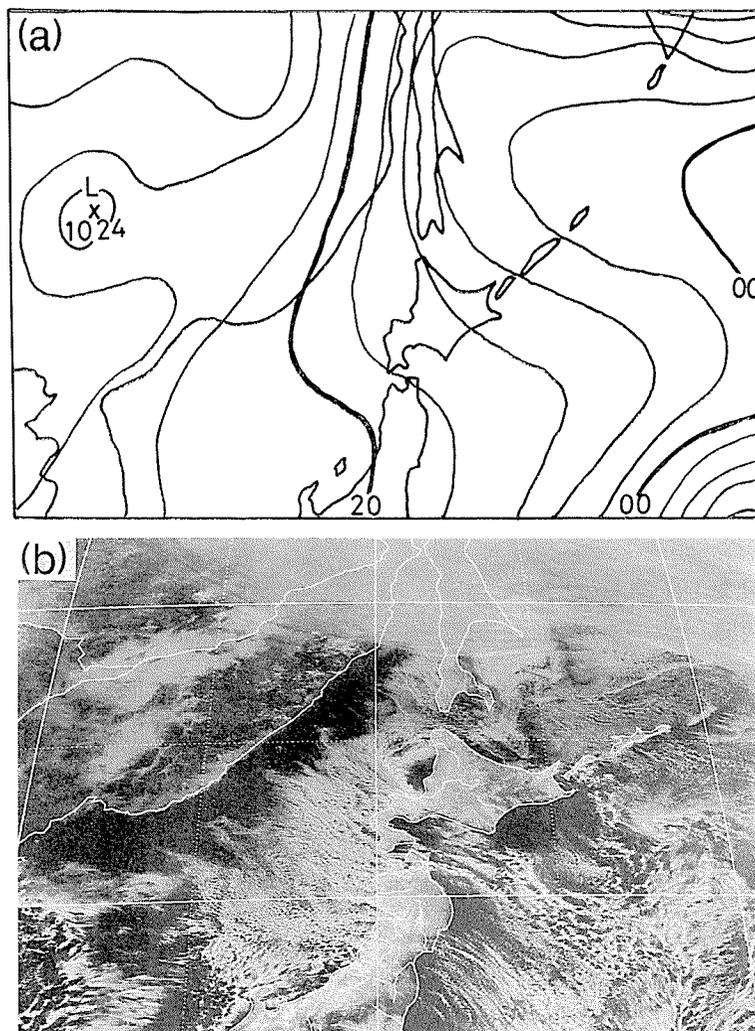
III. 結 果

ランドサットの波長帯別の写真を比較してみると, 波長が短い場合にはコントラストが弱く, 薄いベールでおおわれたようになっていた。これは, 上層に氷晶雲がびまんしていると考えられる。逆に, 波長が長い程, コントラストが強くなり, 薄い雲がさえぎる効果が除かれるようにみられるので, そこに雲の濃淡のコントラストが表われるので, この情報が雲の形状・性質を表わす可能性が期待される。そこで, 以下では主にバンド 7 を使って, 次の三例について解析を行った。

III-1. 1984年1月20日のケース

第1図は1984年1月20日09時の地上天気図と12時の静止気象衛星「ひまわり」の雲画像を示したものである。冬型の気圧配置となっており, 北海道の西岸に带状収束雲が発生しているのがみとめられ, それが石狩湾沖で大きく湾曲して積丹半島北東端に沿って石狩平野に上陸してくるのがみとめられる。

第2図は09時48分に撮影されたランドサット写真とレーダ写真(仰角: -0.2°)である。レーダ写真のエコーで横線の部分は雨量相当強度が $1.8\sim 2.3$ mm/hr で白い部分は $2.3\sim 3$ mm/hr である。ランドサットでは積丹半島や手稲山の西側に雲がみられるが, これに対応するレーダエコーは見られない。これは山のかげになってレーダビームが届かないためである。図の(b)にはレーダサイトの札幌市青少年科学館の位置が+印で示されている。また同図の(A, 2)のブロックでは積丹半島の北東岸に沿ってエコーが発達してくる様子がみとめられる。この位置に相当するランドサットの雲の表面状態をみるとエコーの強いところが雲頂の凸部に対応しているのがわかる。このときの太陽の高度角と方位角はそれぞれ 19° , 155° であるため画面の右下から照明されていることに相当するので, それによって生ずる雲の表面の凹凸は逆にみられる恐れがある。そこで画面を逆にして図の(a)を南側を上, 北側を下にしてみると凹凸の立体感が正しく感じられる。また図の(a)の(B, 3)ブロック内にみられる支笏湖の上で雲が消えて湖面がはっきりみえているのがみとめられるが盆地や湖では下降気流のため常に雲が晴れていることが多いことの実例といえる。また(A, 2)の左下角をななめによぎる雲のギャップも積丹半島南西岸に沿って生ずる下降域による雲の切れ目とみることができる。一方, 内陸へ上陸してからのエコーと雲頂を比べてみると(B, 2)の右下と(B, 3)の右上にみられるエコーに対応して雲が消えかかっているのがみとめられ, これは雲粒が降水化の進行に伴って, 消耗されたためか, 降雪の降下に伴う雲の蒸発によるものなどが考えられる。

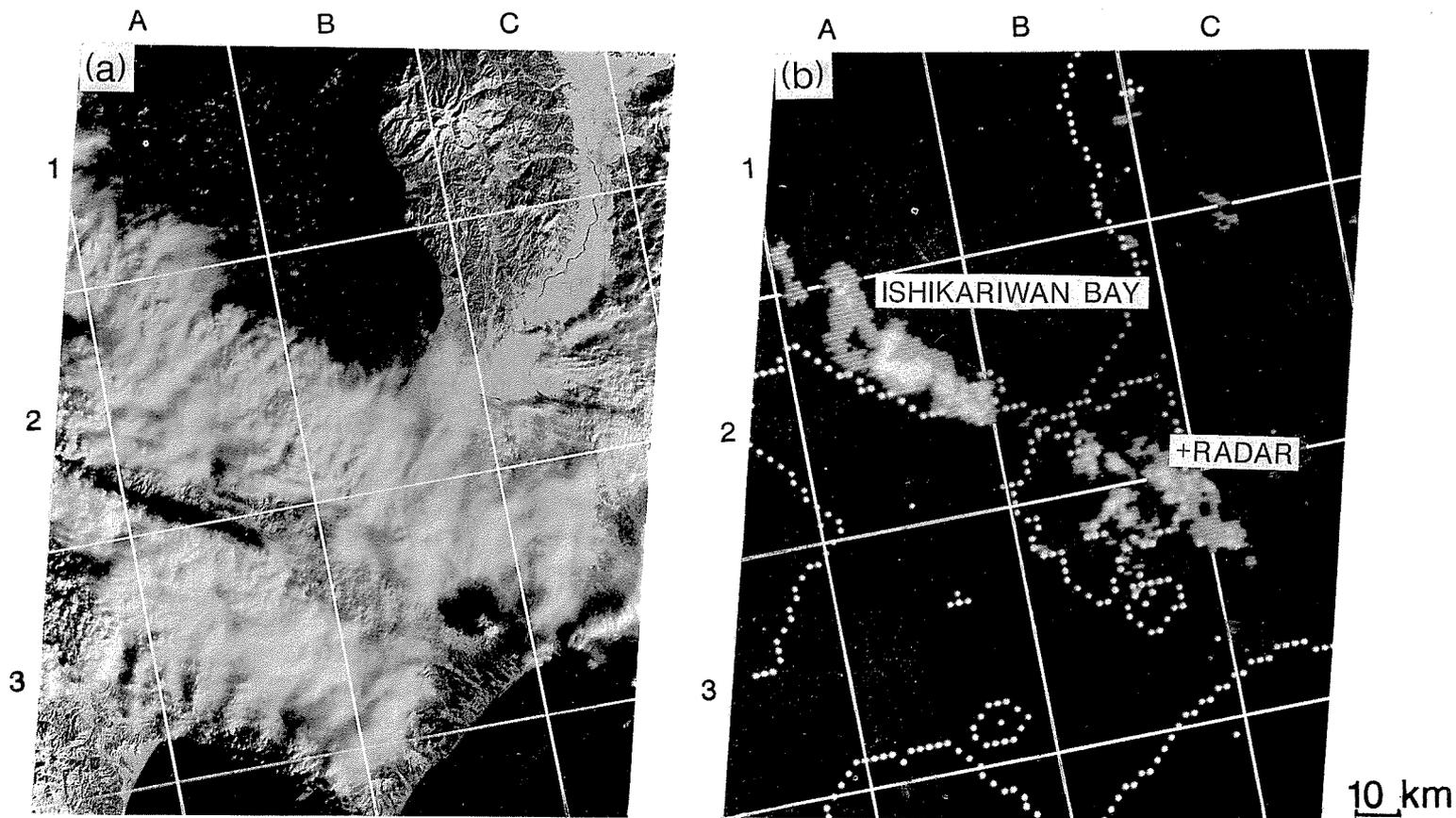


第1図 1984年1月20日の(a)09時の地上天気図(気象庁印刷天気図に基づく)と
(b)同日12時の静止気象衛星GMS-II「ひまわり」の可視可像

III-2. 1983年12月19日のケース

第3図は1983年12月19日09時の地上天気図とひまわりの09時の可視画像を示したものである。これも冬型の気圧配置であるが、北海道西岸の北緯 44.5° 、東経 140.5° には小さな低気圧がある。ひまわりの画像上にもこれに対応する渦がみとめられる。

第4図は09時48分のランドサット写真とレーダ写真(迎角: -0.2°)である。両図では浜益に上陸する雲列がみられ、その南縁より南で雲が晴れて海面がはっきりみえているのが特徴で南縁が明瞭になっていることが注目される。レーダエコーはこの南縁に沿って発達し、しかも海岸を横ぎる直前で最大に発達しているのがわかる。(C, 2)のブロックの上にもみられる二つのエコーは雲より若干北へずれているようである。また図の(b)の海上のエコーの南縁をつらねて、その風上をみると積丹半島の先端に至るが、図の(a)の雲写真では、そこが引き金とな



第2図 1984年1月20日のランドサットとレーダエコーの対比
 (a) ランドサット4号: パス108 ロウ30 バンド7 09時48分撮影
 (b) レーダエコーPPI図
 09時48分観測 仰角 -0.2° +印はレーダ観測点の札幌市青少年
 科学館の位置
 図の経緯線の緯度経度は表1に示す

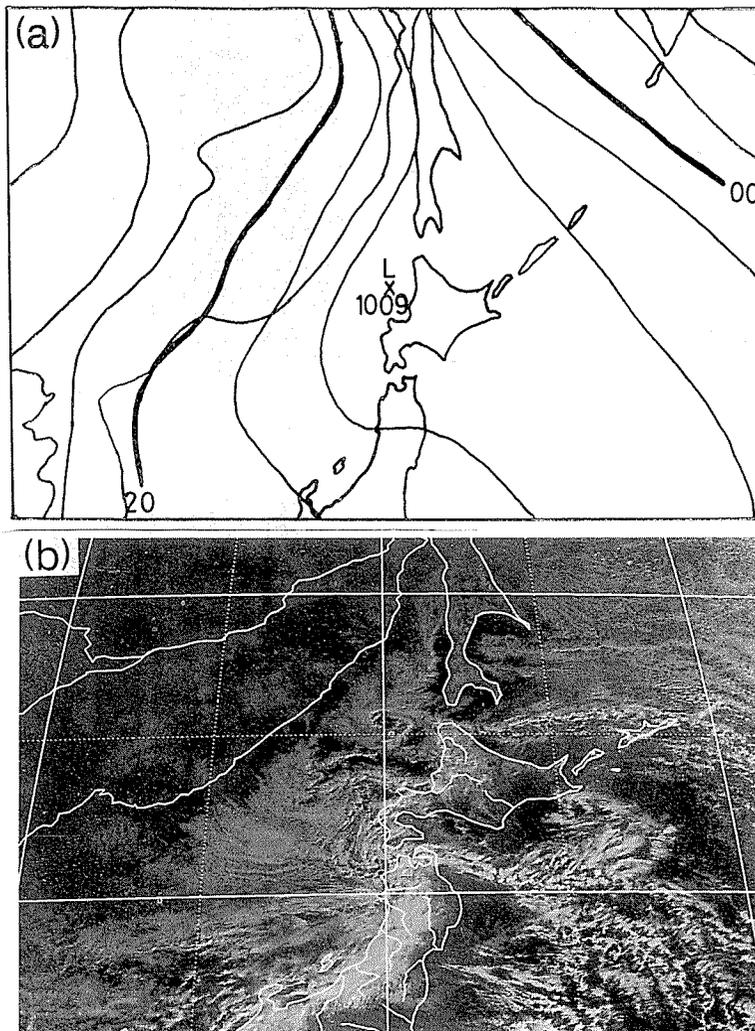
っているのが明らかである。なお、札幌の市街地に弱いエコーがみられるが、これは地形エコーが完全に除去されていないためである。

III-3. 1983年11月17日のケース

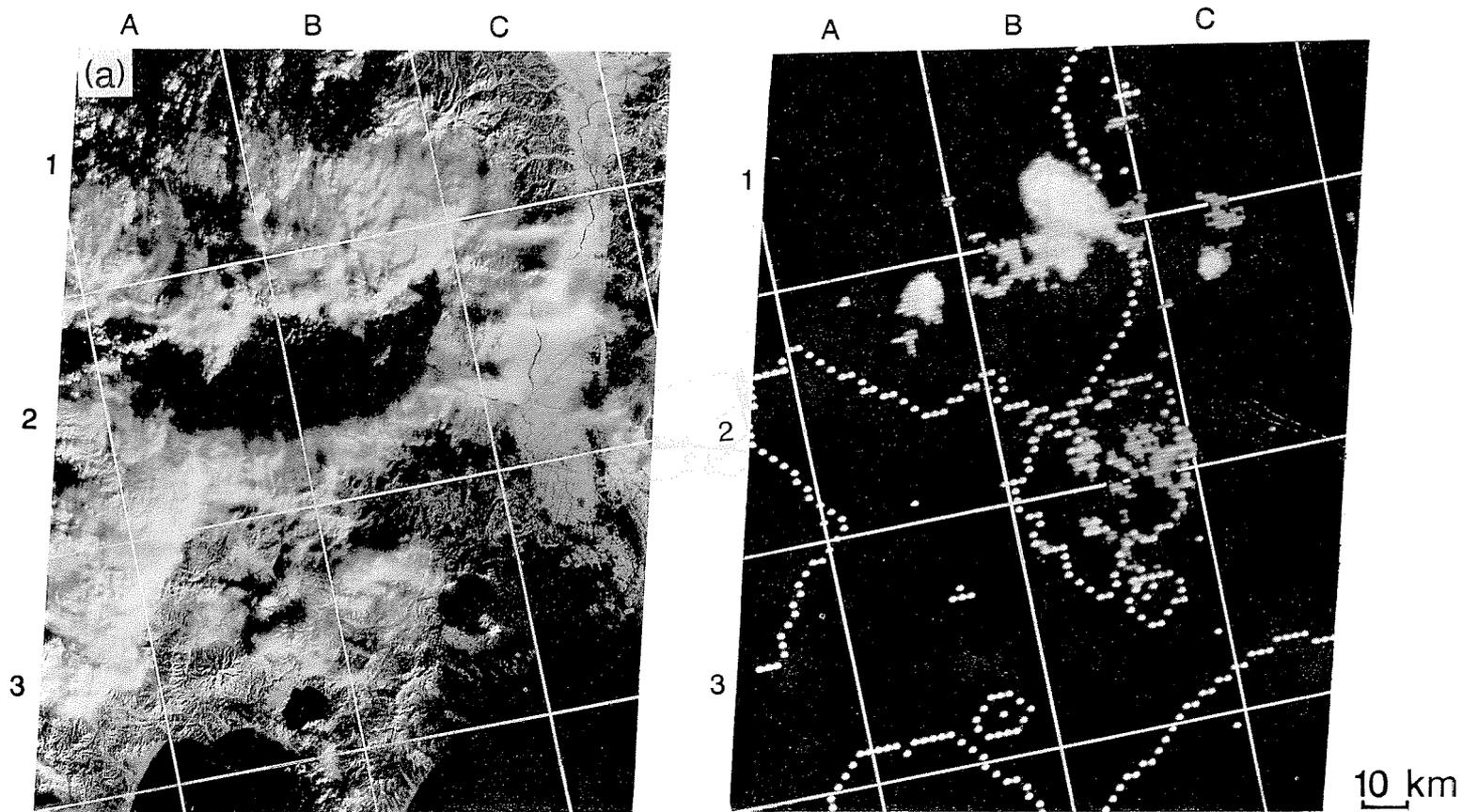
第5図は1983年11月17日09時の地上天気図と「ひまわり」の09時の可視画像を示したものである。このときは大陸上の低気圧から端を発する閉塞の進んだ寒冷前線が石狩湾にかかってくるところである。これらは

表1 第2, 4, 6図の経緯線の緯度, 経度

A	……東経 140 度 30 分 ~ 東経 141 度 00 分
B	……東経 141 度 00 分 ~ 東経 141 度 30 分
C	……東経 141 度 30 分 ~ 東経 142 度 00 分
1	……北緯 44 度 00 分 ~ 北緯 43 度 30 分
2	……北緯 43 度 30 分 ~ 北緯 43 度 00 分
3	……北緯 43 度 00 分 ~ 北緯 42 度 30 分



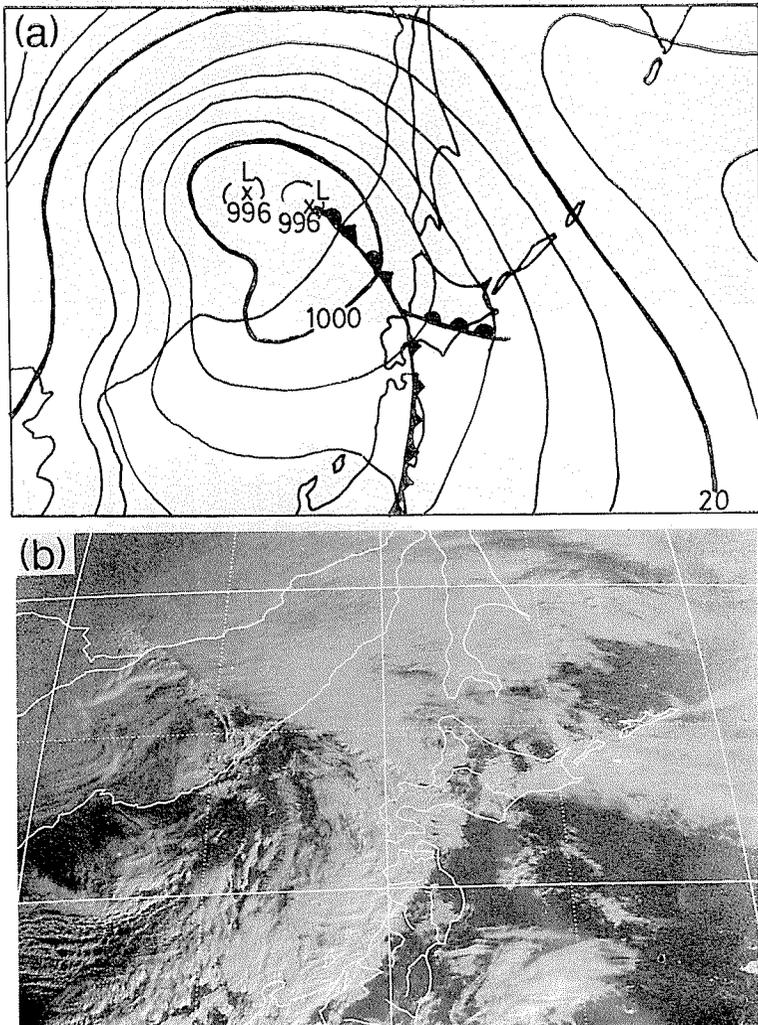
第3図 1983年12月19日の(a)09時の地上天気図と(b)09時の「ひまわり」の可視画像 他第1図と同じ



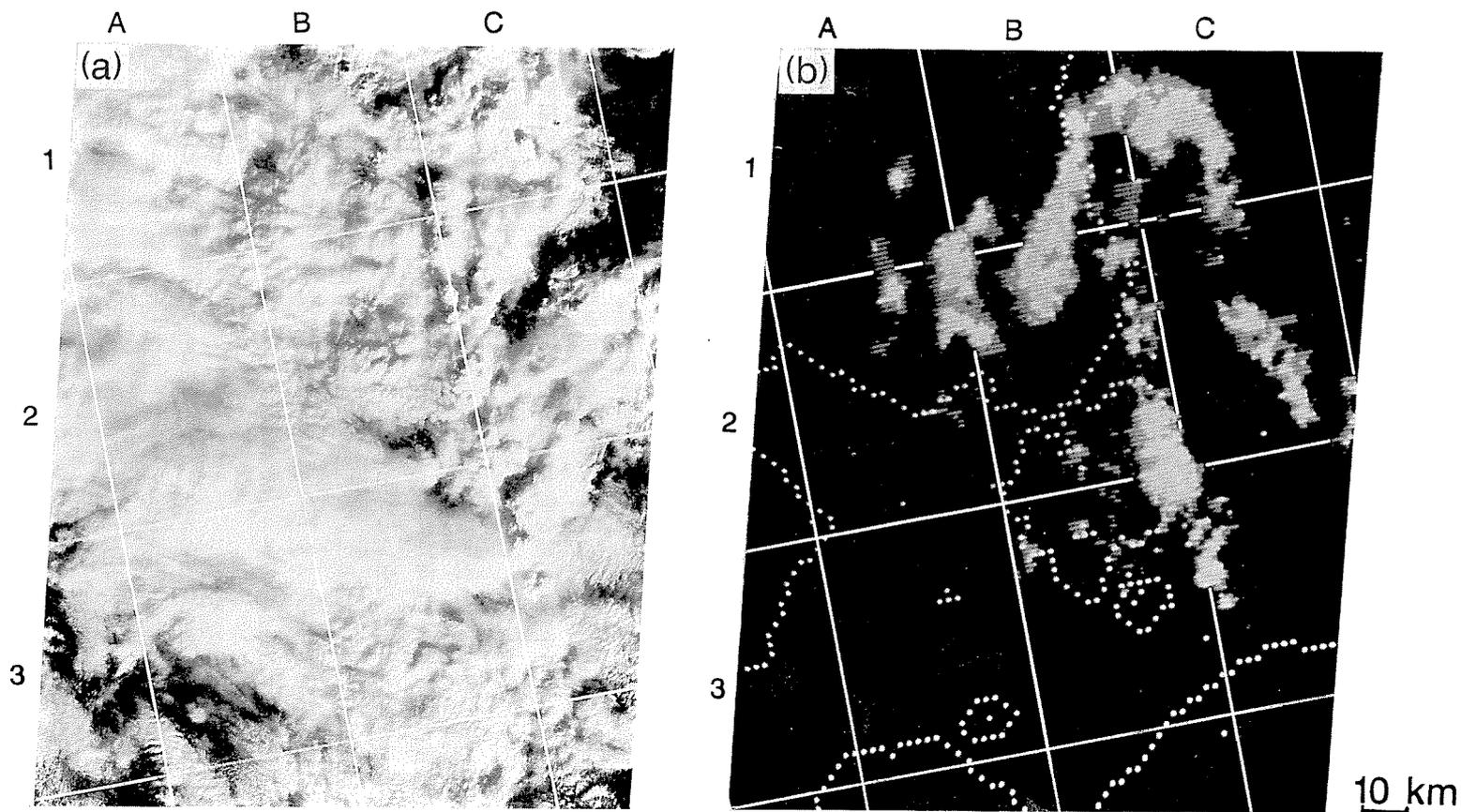
第4図 1983年12月19日のランドサットとレーダエコーの対比
 (a) ランドサット4号: パス108 ロウ30 バンド7 09時48分 撮影
 (b) レーダエコーPPI図
 09時48分 観測 仰角 -0.2°

08時30分すぎに得られたもので、これから約1時間後にランドサットとレーダの撮影がなされることになる。それが第6図であり、09時48分のランドサットとレーダの写真である。エコーと雲頂の凹凸の関係は全般的にはエコーの強いところが凸部である。特に海上の(A, 1)(A, 2)及び(B, 1)(B, 2)にかかっている大きなエコーではエコーの発達域と凸部が対応している。しかし(B, 2)の右上に存在する海岸上陸直後のたてのエコー域は図の(a)の雲ではギャップになっているのが注目される。

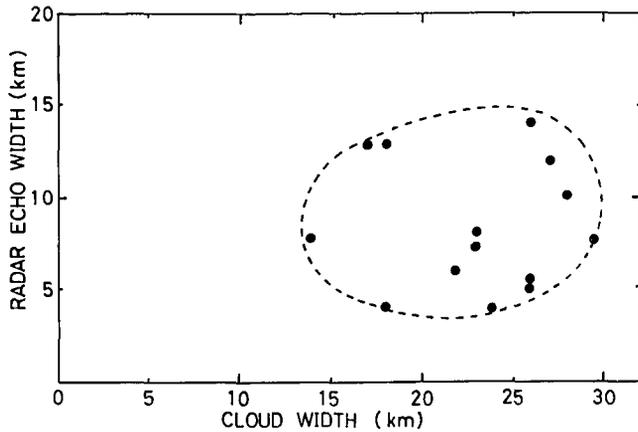
第7図はケース III-1 のランドサットの画像で西岸带状収束雲が上陸する直前の雲の幅とレーダエコーの幅との相関をとったものである。エコーは雨量相当強度で1.8 mm/hr 以上のものとした。これによるとランドサットによる雲の幅は平均23 km であるのに対しエコーの幅は平均8 km である。しかも、これは雲全体の軸より南西側に偏った縁に対応しているのが第2



第5図 1983年11月17日の(a)09時の地上天気図と(b)09時の「ひまわり」の可視画像他第1図と同じ



第6図 1983年11月17日のランドサットとレーダエコーの対比
 (a) ランドサット4号: パス108 ロウ30 バンド7 09時48分 撮影
 (b) レーダエコー PPI 図
 09時48分観測 仰角 -0.2°



第7図 第1図の北海道西岸带状収束雲のランドサットによる雲の幅とレーダエコーの雨量相当強度 1.8 mm/hr 以上の幅との相関

図からわかるが、その雲の約 35% の幅に降雪エコーが対応していることになる。

またこのケースについてレーダの仰角をかえて調べた結果、仰角 +1.0° に上げた時に表示されるエコーと雲の凸部がよく一致していたので、そこでは周囲に比べて背の高い積雲が発達の最中であったと考えられる。一方、仰角 -0.2° の地面に近いエコーについては、雲の凸部と対応しないで、逆に雲画像で黒っぽく写っているところと対応する場合がよくみられた。

IV. ま と め

ランドサットから得られるパスロウ番号 108, 30 における MSS によるバンド 7 の雲画像とこれと同時に観測したレーダエコーとの対応関係を調べた。得られたケースは実に稀少なながら、興味あるケースに幸い対応していた。それは北海道西岸带状収束雲の上陸のケースと北海道西岸小低に付随する積丹半島から端を発する降雪雲の例と最後に閉塞型寒冷前線がちょうど観測域にかかった例の三ケースで、いずれも冬期の石狩湾に西ないし北西から侵入して北海道に上陸するものであった。得られた知見は次のとおりである。

(1) 带状収束雲は積丹半島の北東岸に沿って侵入するケースで発達し、その海上での上陸前の雲の凸部がレーダエコー強度の強いところと対応していた。またこれが上陸するとエコー域は雲の凹部又は黒いところに対応していることが多くみられ、降水過程の末期として考えられる降雪の落下による蒸発や伴流による下降域に対応するものと推定された。

(2) 浜益付近に上陸する西からのエコーの源は積丹半島の尖端部から発生する雲で生ずることがわかった。

(3) いずれのケースでも海上の雲とエコーについてはエコー強度の強いところと雲の凸部が対応し、これが上陸直前で最大に発達すること、また上陸してからはエコーの強いところが雲の凸部と必ずしも対応しないでずれたり、ときには雲の凹部や晴間(切れ目)に対応することが多いことがわかった。

(4) 前線性の場合には、この対応が必ずしもみられず、上陸してからもエコーの強いとこ

ろと雲の凸部が対応していることがあった。これは雲の発達を促す原動力が通常の降雲雲と異なるためと考えられる。

文 献

- 1) 小平信彦・立平良三 1972 気象レーダの利用, 気象研究ノート, **112**, 57-128.
- 2) 岡林俊雄 1972 温帯低気圧, 前線系の雲パターン, 気象研究ノート, **113**, 37-73.
- 3) Tsuchiya, K. and Fujita, T. 1967 A satellite meteorological study of evaporation and cloud formation over the western pacific under the influence of the winter monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **45**, 232-250.
- 4) Reynolds, D. W. and Smith, E. A. 1979 Detailed analysis of composited digital radar and satellite data. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **60**, 1024-1037.
- 5) Heymsfield, G. M., Ghosh, K. K. and Chen, L. C. 1983 An interactive system for composing digital radar and satellite data. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 705-713.
- 6) Heymsfield, G. M., Blackmer, Jr. R. H. and Schotz, S. 1983 Upper-level structure of Oklahoma tornadic storms on 2 May 1979. I: Radar and satellite observations. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1740-1755.
- 7) Lyons, W. A. and Pease, S. R. 1973 Detection of particulate air pollution plumes from major point sources using ERTS-1 imagery. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **54**, 1163-1170.
- 8) Mekler, Y., Quenzel, H., Ohring, G. and Marcus, I. 1977 Relative atmospheric aerosol content from ERTS observation. *J. Geophys. Res.*, **82**, 967-970.
- 9) Viswanadham, Y. and Torsani, J. A. 1982 A study of atmospheric diffusion from the Landsat imagery, *J. Geophys. Res.*, **87**, 9621-9635.
- 10) Schott, J. R. and Henderson-Sellers, A. 1984 Radiation, the atmosphere and satellite sensors. *In Satellite sensing of a cloudy atmosphere* (A. Henderson-Sellers ed.) Taylor & Francis, London, 45-90.
- 11) 宇宙開発事業団地球観測センター (企画・編集) 1982 地球観測データ利用ハンドブック, リモートセンシング技術センター, 東京.

Summary

Correspondence between cloud images from the Landsat and precipitation radar echoes in winter was investigated. The area covered by the Landsat being comparable with that by the meteorological radar. PPI radar displays were photographed at the same time when the reflection of sun light from the ground or clouds near Sapporo was detected by the multi-spectrometer on the Landsat when it passed over the suburbs of Sapporo once or twice per month.

Strong echo regions were found, as a result, in the Landsat images of clouds where cloud activity was higher off shore. Echo-detected regions near the ground seem to overlap not with cumulus regions but with the black regions. Radar echoes were detected at 35% of the area of the band-type cloud.

To make the correspondence further clear we are called on to obtain information from infrared images from the landsat, doppler radar, etc.