第10章　結び―将来の展望・課題*

わが国においては気象庁以外においても、気象レーダの高度利用が進められている。たとえば電波研究所の鹿島支所では、衛星マイクロ波通信の研究のためドップラーレーダによる雨域の解析がなされ、類似のものが国際電々研究所により山口衛星通信所（山口県）及び高萩通信所（茨城県）において実施されている。また建設省では豪雪地帯でレーダ観測の利用が進んでいる。電力会社も山岳地帯の雨観測や雷監視にレーダを用いている。

このようにレーダ利用の高度化に対し、社会的要求が高まっている現在、我々はさらにこの改善と利用方法の拡大を進めるべきである。そこで将来の気象業務あるいは研究のため、さらに開発研究を進めるべきものを以下に列挙する。

(1)　装置を含む観測方法の改善

①　ドップラー強風測定の改善

周知のようにパルス繰返し周期による制約のため、風速のドップラー測定ではある風速以上は単純には不可能である。もちろん周辺の風速分布状況から、この制約を越えて風速を決定することが出来る。これを常に自動的に決定する方法を確立すべきである。

②　エコートップ高度の測定精度の改善

アンテナのサイドローブのため積乱雲等の雲頂高度の決定には誤差が大きい。この問題を解決することは以前からの課題である。対流活動を明確に示すためにも、また航空気象上からも強く希望されているものである。

③　局所的の強い風シア検出方法の改善

これは微気象的にも航空気象上からもきわめて重要なものである。後述の(2)③で強く要求されるものとなろう。

④　エコー処理における並列の複数マイコン利用の開発

ドップラー処理を含むエコーデジタル処理は、多くの場合大型電算機に依存している。このままではデータ処理高度化は限られた施設だけのものとなる。これを改善するには、複数のマイコンの並列運転による処理が考えられよう。このため従来の大型電算機のパイプライイ処理法ではなく、複数の安価な電算機を利用する並列処理法を開発すべきである。

メモリーストレージにもビデオテープレコーダ利用のテープが使用されるべきである。

---

*　内藤恵吉：気象衛星研究部

⑤　VHF帯ドップラーレーダによる風鉛直分布等の測定法の改善

1965年前後からVHFドップラーレーダによる風測定が試みられてきた。電波反射体は気温の不均一の乱れである。最近の10年間電離層、中層大気等の高層大気探測のため、京大のMuレーダのような超大型のVHFレーダが少くとも10数箇所以上設置されるにいたった。これらのレーダでは、いわば副産物的にきわめて容易に（晴雨に抱らず）風速測定が可能であることを示している。われわれは当面超高層は対象とする必要はなく、精々下部成層圏までで良いと思われる。従って超大型VHFレーダでなくてよい。問題は雑音電波の影響除去にあると思われるが、パッシブ的な除去法だけでなく、アクティブ的な除去法も併用する価値があろう。

なおこのレーダは圏界面の検出も可能であるが、実用的な方法を確立すべきである。

(2)　気象解析

①　台　　風

継続して研究すべきことはいうまでもない。台風が日本近傍にある場合と上陸後の場合に一応は限られるが、湿潤気流の流入の構造の精密な解析は、台風の変質、進路等に非常に有効な資料を与えると思われる。台風による集中豪雨の予測の発展には、欠くことの出来ないステップであろう。

②　集中豪雨雪

台風に伴うものは上記の通りであるが、停滞降雨帯性あるいは地形要因性等について、気流系の詳細な観測、解析はドップラーレーダによって始めて行われる。この詳細な解析こそが集中豪雨雪の予報への道を開くと思われる。

③　雷雨、雹、竜巻、突風

これらは米国、英国で大きな進展を見ているが、すべてドップラーレーダの利用の結果である。我が国においても一般的な予警報のためだけでなく、航空気象その他特殊の分野の要望に応えるよう、研究を進めるべきである。

④　航空気象

今までの項目内で述べたことのほかに、晴天乱流がある。これには(1)⑤で述べたVHFレーダが最も有効と考えられる。空港周辺の乱気流に対しては、VHFレーダを試みた例を聞かないが、周囲環境のいわゆる雑音に対して、基礎から実験的に対策を研究すべきであろう。しかし空港からある方向で離れた地点で監視することが、その空港にとって有用であるならば、そこでVHFレーダの利用を考えることは、晴雨に関係しないという点で非常に興味あるものである。

空港周辺の乱気流及び風シアの観測について、現時点で実用化されているものは、ドップラーソーダ（音響レーダ）とマイクロ波ドップラーレーダの併用である。前者は非降雨時及び弱雨時（すなわち強雨時を除く場合）に用いられ、後者は降雨時に用いられて相補的である。これらの利用は米国、欧州では盛んであるが、まだ最近のことである。効果的な利用方法の確立は今後の問題である

ので、わが国においてもこの方面の開発を進めるべきであろう。

⑤　雲物理、境界層等の研究

雲物理ではふるくからレーダは利用されてきたが、今後も益々利用されることはいうまでもない。ここにこまかく述べる必要はないが、気象の人工調節の面などでは実用的にも必須の手段である。

境界層では山岳による晴天乱流の発生の観測などに用いられてきた。今後もこの種の研究と、本報告にも述べられているような境界層内の空気塊の移流・拡散の問題と大いに利用されるであろう。しかし、ドップラーソーダもこの種の研究に活用されていることも留意すべきである。

⑥　海況観測

海の波浪観測にレーダを利用する研究は、気象レーダの利用開始とともに試みられてきた。現在ドップラーレーダによる観測が再び試みられてきたのは、一つには人工衛星搭載のマイクロ波散乱計による波浪観測の実験に伴って、現われてきたと考えられる。この衛星観測は今後の重要な課題であるので、開発の基礎として、海岸あるいは船舶のドップラーレーダによる解析を、より精密化することが望まれている。衛星波浪観測が実用的になった段階でも、衛星観測の常として、いくつかの基準測定箇所が必要であり、海岸（あるいは島）設置のレーダ観測が要求される。

以上不備な点を恐れるが、あえて述べた。将来多少でも役立つことを願って本章を終える。

Figure Captions

Photo 2.1 Doppler PPI echo display, elevation 3.3°, range marker 20km, 09h 02m 23, June 1981.

Photo 6.1 Example of PPI display showing horizontal distribution of Doppler velocity observed at 040626 JST, January 25, 1985.

Photo 6.2 Example of REI display showing vertial cross-section of Doppler velocity observed at 034821 JST, January 25, 1985.

Photo 7.1 Chaff echoes of X-band Doppler radar on 16 Oct 1984 at 12: 47: 59.

Photo 7.2 Same as in Photo. 7. 1 except at 13: 08: 21.

Photo 7.3 Same as in Photo. 7. 1 except on 18 Oct 1984 at 14: 02: 20.

Photo 8.1 PPI display of Doppler velocity field showing angel echo motion at 175930 JST, October 3, 1985.

Photo 8.2 PPI display of Doppler velocity field showing insect-like motion at 164230 JST, October 4, 1982.

Photo 9.1 Sea clutter shown on PPI display. The photography above shows intensity, and the bottom one Doppler velocity. It shows the north-east wind.

Fig. 1. 1 Basic system of the block diagram of the orthogonal phase detector.

Fig. 1. 2 Vector represenation of Doppler radar return.

Fig. 1. 3 Aliasing effect of Doppler frequency in pulsed radar system.

Fig. 1. 4 Doppler spectra of precipitation echo. (Left) non-aliasing, (Right) with aliasing.

Fig. 1. 5 Block diagram of the 5.7 cm wavelength Doppler radar.

Fig. 1. 6 Block diagram of the pulse pair processor.

Fig. 1. 7 Block diagram of the 3.1 cm wavelengh Doppler radar.

Table.1.1 The characteristics of the programming language.

Fig. 2. 1 Geometry of scan for wind measurements by VAD technique.

Fig. 2. 2 VAD pattern made by wind and particle's fall speed.

Fig. 2. 3 VRD pattern accompanied by aliasing effect.

Fig. 2. 4 VAD patterns with examples of actual results. (Left) no turbulence, (Middle) with turbulence, (Right) with non-uniformity of fall speed.

Fig. 2. 5 Correction of VAD pattern accompanied with data discontinuity in azimuth direction. (Left) before correction, (Right) after correction.

Fig. 2. 6 Height distribution of standard deviation for VAD pattern shown by elevation angle as parameter. 21h July 2, 1980.

Fig. 2. 7 As in Fig. 2. 6 except for 09h July 9, 1980.

Fig. 2. 8 Comparison of wind profiles between radar of several elevation angles and sonde. 21h July 2, 1980.

Fig. 2. 9 Comparison of wind profiles between radar with elevation angle of 30° and sonde. 21h July 2, 1980.

Fig. 2. 10 As in Fig. 2.8 except for 09h July 9, 1980.

Fig. 2. 11 As in Fig. 2. 9 except for 09h July 9, 1980.

Fig. 2. 12 Standard deviations of radar wind data for various elevation angles compared with sonde data in 1980.

Fig. 2. 13 Relationship between correlation caefficient and error rate, 9h June 12, 1981.

Fig. 2. 14 Height distribution of errors for VAD patterns shown by elevation angles as parameter. 09h

collected every 30 seconds. Solid lines in the lower part are isopleths for 4, 2, 0, and $-2\ ms^{-1}$. (c) Cylindrical representation of Doppler velocity and mean vertical velocity in the circular area and vertical profiles of horizontal divergence and vertical velocity.

saturation equivalent potential temperature θe^* at Tateno at 2030JST on 25 Sepetember 1981.

Fig. 4. 4 Radar echoes by the Mt. Fuji radar at 21 and 23JST on 25 September 1981. Stippled and solid shading indicate echoes the intensity of which is equivalent to precipitation intensity exceeding 4 $mmhr^{-1}$ and 16$mmhr^{-1}$, respectively.

Fig. 4. 5 Distribution of precipitation amount in the previous one hour observed by the Automated Meteorological Data Acquisition System from 23JST on 25 Sepetember 1981 to 02JST on 26 September. Dashed lines are isopleths of precipitation amount of 5$mmhr^{-1}$, and solid lines are isopleths of precipitation amourt starting at 10$mmhr^{-1}$ with 10$mmhr^{-1}$ increment.

Fig. 4. 6 Time sequence of radar echoes by Tsukuba radar the intensity of which exceeds 35dBZ from 2113JST on 25 September 1981 to 0223JST on 26 September. The cross indicates the position of Tsukuba radar.

Fig. 4. 7 Reflectivity and Doppler velocity of the 2-km level at 2349JST on 25 September 1981. The isopleths of reflectivity are at 5 dB intervals and regions with reflectivity exceeding 35dBZ are shaded. The isopleths of Doppler velocity start at ±1m/s and its intervals are 2m/s. Regions with positive Doppler velocity are shaded.

Fig. 4. 8 As in Fig. 4.7 except for at 0058JST on 26 September 1981. The solid line which extends to C indicates the direction of the vertical cross section in Fig. 4.12.

Fig. 4. 9 As in Fig. 4.7 except for Doppler velocity at 3, 4, 5-km level at 0058JST on 26 September.

Fig. 4. 10 As in Fig. 4.7 except for 0228JST on 26 September.

Fig. 4. 11 As in Fig. 4.7 except for Doppler velocity at 3, 4-km level at 0228JST on 26 September.

Fig. 4. 12 Vertical cross-section of Doppler velocity (a), and reflectivity (b), in the direction 175.8°. The isopleths of Doppler velocity start at −1m/s and its intervals are 4m/s. Regions with Doppler velocity below −15m/s are stippled. The isopleths of reflectivity are at 5dB intervals and regions with reflectivity exceeding 35 dBZ are stippled. Dashed lines indicate noise level of reflectivity.

Fig. 4. 13 As in Fig. 4.7 except for at 2237JST on 25 September.

Fig. 4. 14 Distribution of wind velocity observed by the Automated Meteomological Data Acquisition System from 23JST on 25 September 1981 to 02JST on 26 September. Thin wind symbols indicate 1m/s and thick ones indicate 5m/s.

Fig. 4. 15 Map of surface temperature (°C). L, X indicate the position of the cyclone and the center of cyclonic circulation. Surface air temperature is indicated only where the height is relatively low.

Fig. 4. 16 Surface chart for 03JST on 28 January 1985. Isobars are at 4hPa intervals.

Fig. 4. 17 Cloud photograph of GMS-III infrared imagery at 03JST on 28 January 1985.

Fig. 4. 18 Time sequence of composite radar echoes by the Fukui and Niigata radars from 03JST to 06JST on 28 January 1985.

Fig. 4. 19 Time sequence of radar echoes around the observation area of the Doppler radar at Kanazawa by the Fukui radar from 0330JST to 0700JST on 28 January. Elevation angle is 1.0°. The observation domain by Doppler radar is enclosed by a circle. Isopleths indicate reflectivity converted into precipitation intensity at 0.25$mmhr^{-1}$ intervals. The areas higher than 1,000m above sea level are shaded (0330JST and 0700JST). The location of cross sections in Fig. 4.21 is indicated by a solid line.

Fig. 4. 20 Vertical distributions of potential temperature θ, equivalent potential temperature θe and saturation equivalent potential temperature θe^* before the passage of the cold front

気象研究所技術報告は、気象学、海洋学、地震学、その他関連の地球科学の分野において、気象研究所職員が得た研究成果に関し、技術報告、資料報告及び総合報告を掲載する。

気象研究所技術報告は、1978年（昭和53年）以降、必要の都度刊行される。

昭和61年3月31日発行　ＩＳＳＮ　0386—4049

編集兼発行所　　気　象　研　究　所

茨城県筑波郡谷田部町長峰1—1

印　刷　所　　前田印刷株式会社　筑波支店

茨城県筑波郡谷田部町東新井14—5