

1. はじめに

首都高速道路の三郷ジャンクションから常磐自動車道に入り北上すること30分、前方に赤白に塗り分けられた細長い構造物が目に入るようになる。夜間であれば夜空を背景に上下に並んだランプが点滅している。気象研究所の気象観測鉄塔である。1975年に建設されたこの鉄塔は、35年の長期にわたって気象の様々な分野の研究にデータを提供し続け、2008年末にその役目を終え、2011年現在解体されている。この鉄塔について振り返ってみたい。

2. 大気境界層と観測鉄塔

第二次大戦後に急速に発展した気象学の一分野に大気境界層に関する研究がある。気象の教科書(近藤、1994)には「高度0.5km～2km程度以下の層は大気境界層と呼ばれる。この層では地表面の摩擦の作用と熱的な作用によって乱流が発生し、気温や風速などは激しく変動している。地表面からの顕熱と潜熱(水蒸気)は乱流によって上空へ運ばれている。」とある。太陽の熱によって暖められた地球は大気境界層をとおして大気と熱や水蒸気を交換し、地表面の状態を快適に保ち、生物の存在を可能にしているのである。

このように大気境界層ではそれより上空で通用している完全流体力学では表現しきれない運動や熱の交換があるため、大気境界層内で通用する物理法則を確立することが必要となり、観測が行われるようになった。当初は気球などが主な手段であったが、1960年代には大気境界層を常時観測ができる高さ数百メートルの鉄塔を使った研究が始まり、ロシア(当時ソビエト)や米国を中心として大気境界層の研究が進展した。

3. 気象観測鉄塔の建設

当時、国内では数十メートルの気象鉄塔やTV放送用の大型鉄塔を使って研究を行っていた分野の研究者は、高い気象鉄塔を持つことが夢であった。この夢は、気象研究所が東京の高円寺から現在のつくばの地に移ることで実現することになった。気象研究所の移転(1980)に先立ち、鉄塔は1973年に建設が始まり、1975年12月に竣工した。気象研究所のつくば移転は、当時の気象庁としては大事業であったが、気象観測鉄塔はその一番手を担ったのである。鉄塔の本体に約7

億円、測定器・処理装置に約2億円が投じられた。1978年11月にはすべての測定器が取り付けられ本格的観測が始まり、1980年6月には観測データの計算機処理が実用化された。

この鉄塔の高さは213m、途中10m、25m、50m、100m、150m、200mにステージがあり、ここから3方向にアームが6m突き出ている(第1図)。アームの先端にはプロペラ型風向風速計、超音波風速計、白金抵抗温度計、静電容量湿度計、熱電対乾湿計などの気象センサーが取り付けられ、ハンドルを回すと取付台が動き、センサーが手元に引き寄せられる構造となっていた。測定データは研究所本館の専用室の計算機に入力され処理されていた。3方にアームを設置したのは、風の観測時に鉄塔の影響がない測定位置を確保するためである。高さ200mまでは3人乗りのエレベータで登ることができた。ラックピニオン歯車の噛み合う音を聞きながらエレベータで上昇するときに、鉄塔の高さを最も実感するときである。200mから13mの垂直階段を上ると頂上のステージに着く。そこには遮るものがない景色が広がっていた。



第1図 地上から見上げた気象観測鉄塔。6つの高さから3方向にアームが伸びている。

4. 研究と成果

鉄塔の設置から1980年代にかけては、観測鉄塔の主目的である大気境界層における風、気温、水蒸気の構造について研究が行われ、「風の鉛直分布の基本的振舞」、「強風の性質」、「温度拡散係数の季節変化」、「風の日変化とスペクトル」、「乱流統計量の空間変動」をテーマにして多くの論文が発表された(第2、3図)。これによって、この地域特有の境界層下部における風や気温の構造やその乱流時間変動が明らかにされ、この分野の科学的進歩に貢献した。鉄塔の利用開始直後の1982年には早くもデータ利用研究者が集まって、Tower Meteorology シンポジウムがつくばで開かれ、その翌年の気象学会春季大会では同時期に気象研究所に整備された大型風洞とともに、「大気境界について—タワーと風洞に関連して」と題して研究成果が発表された。

1980年代後半に入ると気象観測鉄塔本来の研究とともに、ドップラーレーダー、ウィンドプロファイラ、ドップラーソーダなどのリモートセンシング機器が開発されたことに伴い、鉄塔はそれらの精度検証のためのグランドツルースとしても使われるようになった。1988-89年には隣接する高層気象台の係留気球なども参加して、風の測定器が一同に会した比較実験が大規模に催された。いわば、各種測定器のお目付け役を果たしたのである。その後もこうした評価は続けられた。それらの結果、十分な観測精度と実用性を有していると評価されたものは気象庁の業務に取り入れられ、空港や一般気象のドップラーレーダーやウィンドプロファイラ網(WINDAS)として現業化された。さらに、それらは数値予報の精度向上や竜巻注意情報などの新しい気象情報の礎となったのである。

2000年代になると、そうしたリモートセンシング機器と観測鉄塔を複合的に利用して、大気の構造を解明する研究が始まった。そのひとつは、台風の中心がつくば付近を通過した際、気象研究所のドップラーレーダーと鉄塔を使い、上空にある強い気流が積乱雲内の下降気流によって地上付近に運ばれ、局地的な突風をもたらした現象を捉え、これまでに知られていなかった風の構造が解明された(第4図)。

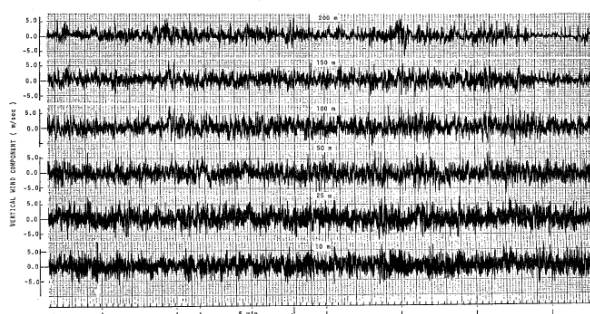
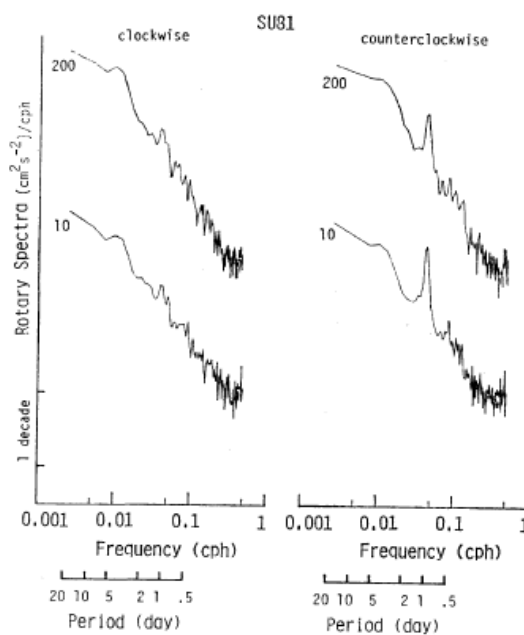
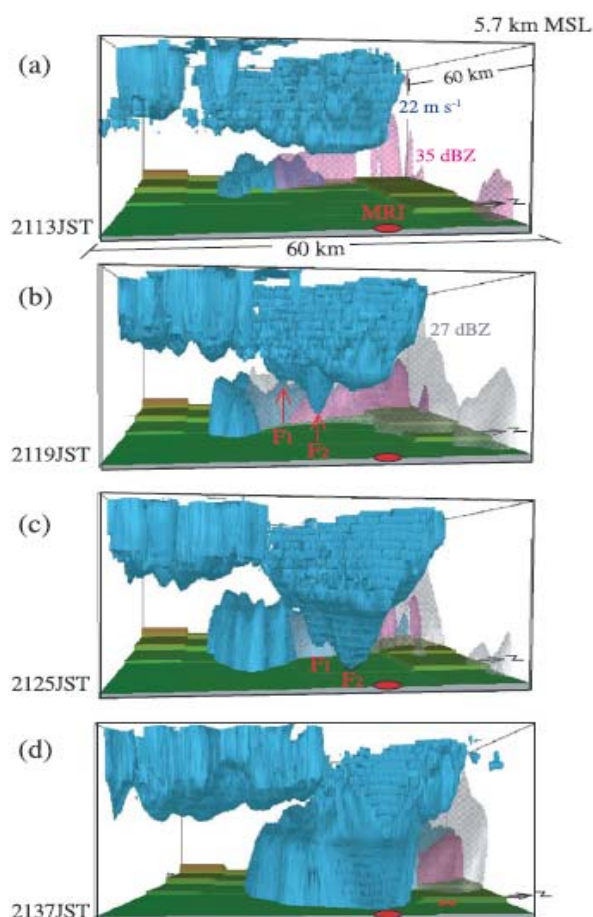


Fig. 2b. Example of wind fluctuations of the vertical component.

第2図 初期の論文(花房・藤谷,1981)に掲載された鉄塔の各高度における約30分間の風の時間変化。



第3図 高度10mと200mにおける風の右回転スペクトル(左図)と左回転スペクトル(右図)(藤谷,1985)。



第4図 2002年10月2日に台風21号の中心付近がつくば市付近を通過し、ドップラーレーダーによって地表に向かって漏斗状に下りる上空の強風域(青色)が観測された。最後に地表に達したとき気象観測鉄塔によってその存在が確かめられた(Adachi and Kobayashi, 2009)。

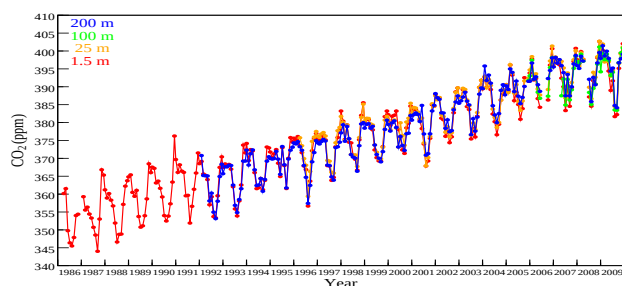
気象観測鉄塔はそれ自体が大型の観測装置であるばかりか、独立した高層構造物という利点を生かして、他分野の研究を行うためのステージを提供するという重要な働きもしてきた。地球上の二酸化炭素(CO₂)は地球温暖化に最も敏感に対応する物質である。気象研究所では地球化学分野の研究として、1992年以来鉄塔の各高度でCO₂の濃度を測定するというユニークな研究が続けられ、その日変化、季節変化、年々変動が明らかにされた(第5図)。また、大気中のエアロゾル濃度や降水の成分の測定にも利用された。

5. 役目を終えて

このように数多くの研究成果を生んだ気象観測鉄塔であるが、建設して30年を過ぎた頃からすべて鉄材で作られている本体や精密機械である気象センサーの老朽化が顕著になってきた。ペンキの塗り換え、エレベータの点検、航空保安灯の交換などは費用と手間のかかる作業である。国内では類例がなく、世界的にも数少ない施設である。その役目は果たしたとはいえ、「今後どんな新規の研究が現れるかわからない」、「いや限られた気象研究所の予算を他の研究に振り向けるべきだ」など、その存続について真剣な議論が行われ、その結果2008年末に運用の終了を迎えた。30年間の観測データは保存されており、これからも利用することができる。

6. おわりに

昨年11月、私の研究室に思いもかけないプレゼントが届いた。鉄塔についての思いを綴った2枚の匿名の色紙である。近隣の21人の住民の方からの寄せ書きである。「おれ」と「さびしい」ということばがたくさん書かれていた。これを見て私は、この鉄塔はただの気象観測施設ではなく、もしかすると長い間につくば学園都市の“文化”のひとつになっていたのではな



第5図 気象観測鉄塔で測定されたCO₂濃度の長期変化。午後
のデータ(1:00-4:00PM)のみを用いた月平均濃度時系列。200m
の年平均濃度は1993年の364.2ppmから2009年の395.7ppmまで
16年間で約32ppm増加した。(澤庸介ほか, 2010)。

最後に、この鉄塔の建設に情熱を燃やした多くの先輩達、鉄塔を使って種々の研究に携わった研究者達、予算の確保や視察などに尽力された管理部門の方々、建設やメンテナンスなどに携わった業者の方々、そして周囲から温かくも守っていて下さっていた住民の皆様に感謝してこの話を終わります。



第6図 匿名の方々からいただいた色紙の写真と寄せ書きの一部。

主な参考文献

- 花房龍男, 藤谷徳之助, 伴野 登, 魚津 博, 1979: 気象研究所技術報告, 3.
- 花房龍男, 藤谷徳之助, 1981: *Papers in Meteor. Geophysics*, 32, 19-35.
- 藤谷徳之助, 1983: 天気, 30, 603-609.
- 藤谷徳之助, 1985: 天気, 32, 259-269.
- 藤谷徳之助, 1986: 天気, 33, 435-269.
- Fujitani, 1986: *Atmos. Environment*, 20, 1867-1876.
- 気象衛星・観測研究部, 1994, 気象研究所技術報告. 33.
- Inoue and Matsueda, 2001: *Tellus B*, 53, 205-219.
- Adachi, Clark, Hartten, Gage, Kobayashi, 2004: *Annales Geophysicae*, 22, 3937-3950.
- 小林隆久編, 2004: 気象研究ノート, 205.
- Adachi, A., T. Kobayashi, K. S. Gage, D. A. Cater, L. M. Hartten, W. L. Clark and M. Fukuda, 2005: *J. Atmos. Ocean Tech.*, 22, 1167-1180.
- Inoue and Coauthors, 2006: *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 959-968.
- Adachi and Kobayashi, 2009: *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 57-82.
- 澤庸介, 松枝秀和, 坪井一寛, 丹羽洋介, 石井雅男, 吉川久幸, 2010: 第16回大気化学討論会予稿集。