

総観気象学の幕開け*

股 野 宏 志**

1. はじめに

筆者はかつて本誌1986年11月号に掲載の「総観気象学への招待」で、総観気象学と銘打った書物が殆ど見当たらず、日本では高橋浩一郎氏の「総観気象学」(岩波書店, 1969)が目につく程度であるとした。しかし、その後間もなく、松本誠一氏の「新総観気象学」(東京堂, 1987)が出版され、黄昏気分の総観気象学に再び曙光を見る思いがした。蛇足ながら、「高橋・総観気象学」は高・低気圧や前線など天気図で見られる規模の現象(総観規模現象)の平均的特徴を動気候学的観点から説いたところに特色があり、一方「松本・総観気象学」は従来の総観規模現象より1桁も2桁も小さい規模の現象(メソ系の現象)を取り入れたところに新しい特色がある。

このような総観気象学の枠の拡大は、レーダー・アメダスに代表される地域高密度観測網の充実と精密数値モデルの登場に伴い、メソ系の現象についても「気象要素(物理量)の空間分布」を介しての考察が可能になったことを示すものである。そして、本誌1993年11月号所載の春季大会シンポジウム報告「メソスケールの気象予測：展望と課題」や本誌1994年1月号所載の木村富士男氏の「熱的局地循環」(学会賞受賞記念講演)はその方向での発展を促しているように思われる。従って、気象衛星で代表される全球観測網の展開と高性能全球数値モデルの完備を併せると、来世紀には、微小な局地規模の現象を含め、総ての現象がそれぞれの規模に応じた「気象要素の空間分布」を介して考察できるようになる。

元来、天気図は大気の状態を「気象要素の空間分布(場)」として表現したものであるから、総観気象学は言葉の最も高い意味で「場の科学 (Science des champs)」と呼ばれ、場を介して物事を考えようとする限り、総観気象学は不滅であるとも言われた。それ

で、上に述べたような明かるい将来を考えると、黄昏れたのは総観気象学ではなくて、総観気象学者の方であったのかも知れない。

さて、総観気象学と言えば、今年ルヴェリエが「総観気象学の父」と呼ばれる端緒になった「1854年11月の黒海の嵐」から140年になる。ルヴェリエと総観気象学との関係については既によく知られているが、筆者は本誌1977年10月号所載の「天気予報：その学問的背景と実際の側面」で、その年が彼の没年(1877年9月23日)から100年に当たることから、彼が「嵐が遠くからやってくること」すなわち「暴風がある程度の広がりを持った構造体として天気図上で追跡し得る総観的実体であること、従って、暴風警報が可能であること」を立証し、当時の最新技術である電信を取り入れた国際的な気象観測網と通信網の展開によって天気図に即時性を与え、今日に見る天気予報組織の原型を創設した人であることを強調して遙かなる先輩への追悼とした。

今回は既に述べたように、「黒海の嵐」から140年ということにちなんで、ルヴェリエが総観気象学についてどのような考えを持ち、その発展にどのように尽くしたかを簡単に述べると共に、有名な「1854年11月14日の黒海〜クリミア地域の天気図」について若干の所見を付記し、遙かなる先輩の偉業を偲ぶよすがとした。

2. 局地気象学から総観気象学へ

「観天望気」という言葉がある。「天気を観望する(天気を見渡す)」を分解してもっともらしく並べ替えたものであるが、局地気象学の第一歩である。測器の発明で観測が数量化され、変化の規則性に注目した「科学的な天気予報」の思想が芽生える。フランス大革命で断頭台の露と消えた大化学者ラヴォアジエの事績は大抵の事典類に記されているが、彼が次のような天気予報論を述べていることは余り知られていない。

『天気の予測は原理と規則性に立脚した一つの技術で、熟練した物理学者の豊富な経験と洞察を必要とす

* The Dawn of Synoptic Meteorology.

** Hiroshi Matano, 元気象庁.

© 1994 日本気象学会

る。そして、この技術に必要な資料は気圧（水銀柱）、高度別の風向・風速、湿度、気温などについての定例的な毎日の観測値である。これらの資料を用い、1～2日先に起こる天気を高い確率で予測することは殆ど常に可能である。また、社会に役立つよう予測日報を毎朝発行することも決して不可能ではない。』

彼の処刑を聞いた数学者のラグランジュが「あの頭を切り落とすには一瞬で済むが、あれと同じ頭を作るには100年以上かかる」と言った話は有名であるが、そう言えば、確かに100年以上経った現在も天気予報が一つであるのも分かるような気がする。

さて、天に天文学、地に地理学、天地間に気象学ということで、昔から多くの天文学者や地理学者が気象学の発展に貢献している。しかし、18～19世紀になると数学者、物理学者、化学者などで気象学に名を残す人が多くなる。それはニュートン力学の完成に象徴されるように、近代自然科学が17世紀に確立されたため、その余勢を駆って著名な科学者が18世紀に輩出したからである。そして20世紀末の現在でも気象学は少なからず彼らの恩恵に浴している。

例えば、オイラー(1707-1783)はその筆頭であろう。数値予報はこの人に三拝九拝の礼を尽かさねばならない。ちなみに、ダランベール(1717-1783)は大気の運動を数学的に表現することを試みた最初の人と言われている。19世紀になると、お世話になりっ放しのコリオリ(1792-1843)を始め最敬礼に値する科学者は枚挙に暇がない。

一方、当時のヨーロッパの気象状況も科学者達が目を気象に向ける大きな原因となった。すなわち、1760年代、1780年代、1810年代、1830年代というように顕著な低温期が繰り返し現れ、人々は常に「前よりも更に厳しい寒冷の時代が来るのではないか」との不安を募らせていた。

このため、科学者達は気候変動にも関心を寄せ、各地の長年にわたる観測資料や古い資料を利用して気候を研究した。しかし、これらの資料は、その場所での気候を調べるには有用でも、他の場所と比較して気候変動の区分・区域を特定するには、内容の不揃いや地点の偏在のため余り有用ではなかった。しかし、こうした事情から「気候観測網」を整備する必要があるとの認識が深まったのは一つの成果と言えよう。

その上、当時は気候変動に加え、季節外れの天気、暴風、豪雨(洪水)などのいわゆる異常気象が頻発し、人々の不安を一層募らせていた。そのため、暴風(雨)

に対する関心は以前にも増して高まり、例えば、「熱帯の暴風」についてはレドフィールド(米)やドーフェ(独)などが、また「温帯地方の暴風」についてはブランドス(独)、エスピー(米)、ルーミス(米)などの研究が知られている。ここで、「熱帯の暴風」・「温帯地方の暴風」は、必ずしも現在の日本の気象用語である「熱帯低気圧」や国際的な術語である「Tropical Storm」、その他慣用の術語と同義ではない。

さて、ブランドスと言えば「天気図の元祖」として有名であるが、彼は暴風を研究するために古い資料を調べ、それらを用いて天気図を作成し、「悪天は移動する低気圧系と密接に関係している」と注釈した。ルーミスはブランドスの方式を最近の暴風に応用し、等圧線を描いた天気図を作成して「暴風が移動する」ことを示した。一方、レドフィールドも暴風を研究して「暴風が{移動する旋回風系}である」ことを論じた。そして、エスピーは「暴風の移動は上層の風に従う」ことを唱えた。彼らが主に新大陸の科学者であることは注目に値する。

ところで、19世紀の初めに提唱されたビューフォートの風力階級は19世紀の中頃にはイギリスばかりでなく各国でも広く採用され、強風や暴風など風力の表現もそれに沿ったものになった。これは天気図資料として大きな前進である。こうして天気図が気象の研究に有力な道具として用いられ、天気図を使って気象を研究する方法が「総観解析」として普及した結果、それまでは単に猛烈な風と見られていた暴風が「風系」として、更には「移動する旋回風系」として認識されたことは大きな成果と言えよう。

このように暴風に対する学問的知識が深まると、当時しばしば各地で観測された暴風(時にはハリケーン)に関して、ヨーロッパにも「旋回性の暴風」が存在するのではないかということが話題になった。丁度その頃、モールスの電信が最新の通信技術として登場したので、天気図の作成に必要な資料を電信で収集するという考え方が生まれた。そして、例えばグレーシャー(英)は1851年のロンドン万国博覧会で気象電報による天気図の作成を披露した。しかし、「電信による暴風警報組織」への道は未だ程遠しであった。

当時、航海関係者の間では、海難防止のため洋上を含む世界気候図を作成する必要から、洋上を航行する軍艦や商船による気象観測の実施と資料収集の国際協力が要望されていた。それで、1853年、モーリー(米)の提唱により、ブラッセルで海洋気象の国際会議が開

催され、標準的な気象の観測方法、観測時刻、観測器械、観測日誌などが議論された。この会議の出席者の大半が海軍関係者であったことから、例えばフランスでは早速に海軍大臣が「総てのフランスの軍艦は気象観測を実施すること」を決定し、商船の船長には気象観測の国際協力を要請した。

もし、電信が無線通信で登場していたならば、航海関係者は「世界気候図」よりも「電信による暴風警報組織」に積極的に取り組み、気象業務の展開も異なったものになっていたかも知れない。

3. 電信気象学

天気図を介しての気象に対する関心が高まった19世紀の半ば過ぎ、1854年1月、ルヴェリエはパリ天文台長に就任した。そして以後約25年の生涯を懸け、偉大な天文学者としての世界的名声を背に、彼は気象業務の発展に力を尽すのである。

パリ天文台は17世紀の中頃、太陽王ルイ14世によって創設されて以来、天文学者によって気象観測が続けられ、18世紀になるとパリ天文台の気象観測の結果は新聞にも掲載された。観測種目は気温、気圧、風向・風速（微とか弱とか）及び空の状態（晴とか曇とか）で、観測回数は1日4回であったという。

しかし、ルヴェリエは台長に就任すると早速、この伝統ある観測、別の表現をすれば単に慣習的に行われていた気象観測を改め、厳格な「定時」観測を実施した。ルヴェリエは、長年にわたる優れた気象観測も「定時性」に欠けていると、その場所限りの気候記録として役立つも、電信を利用した天気図に基づく新しい気象学の研究には役立つことを認識し、お膝元から観測の改善を図ることにしたのである。

しかし、多くの人々はルヴェリエの真意を理解しなかった。新しい時代の気象学とそれに基づく気象業務については既に当時の気象学者の話題になっていたが、それは観念的な議論でしかなかった。気象業務を組織として実現するには「定時通報観測」と「観測（予報）通報体制」の確立が必要であり、それが確立されなければ折角の気象業務も砂上の楼閣に過ぎないことを誰も気付かなかったのである。実際のところ、1855年2月にルヴェリエの暴風警報の計画がナポレオン3世によって承認されてから1863年9月に天気図付きの気象日報が毎日発行されるまで、いや最初から最後まで、ルヴェリエの苦勞はこの問題に対する人々の無理解と誤解が原因であったと言えよう。

さて、運命の日、「1854年11月14日、黒海の嵐の日」がやって来る。この嵐は「フランス海軍の誇り」と言われた最新鋭の装甲不沈戦艦「アンリ4世号」をクリミア半島沖で沈めたことで有名であるが、セバストポール要塞を攻撃中の英仏連合艦隊と陸上部隊に甚大な損害を与え、ナイチンゲールの活躍で知られるクリミア戦争の一大修羅場を惹起した。

この嵐の科学的な調査をルヴェリエに要請したのは陸軍大臣ヴェイラン元帥である。この嵐が陸上部隊に惨害を与えたからではあるが、それだけでなく、元来この人は気象に関心を持っていたからである。当時、病気は気象と密接な関係があるとされ、そのため気象に関心を持つ人が多かった。例えば、ルヴェリエの暴風警報計画が承認された後で、文部大臣はナポレオン3世にパリ天文台の気象業務に関連した組織改正を奏上するとき、「気象学は航海、農業、土木、衛生の発展に深い関係がある極めて実際的な学問である」と述べ、衛生にも言及している。

さて、「黒海の嵐」を調査するため、ルヴェリエは各国の天文学者と気象学者に回状を出し、11月12日から16日にかけての観測資料を送って呉れるよう依頼した。この回状に応え、パリ天文台には250通以上の文書が届いた。これらの資料に基づいて「黒海の嵐」を天気図で検討した結果、「嵐が遠くからやって来ること、それを天気図上で追跡し得ること、従って、天気図を毎日作成して解析すれば嵐の来襲を前日には警告し得ること」を立証した。

ルヴェリエはこの結果に基づき、気象観測・通信網の展開と暴風警報の計画を作成し、1855年2月16日、その計画をナポレオン3世に提出した。この計画は極めて優れていたのも直ちに承認され、翌17日にはこの計画の実施に着手する許可がルヴェリエと電信長官に与えられた。そして2日後の2月19日、ルヴェリエは当日の朝10時のフランスの大気の状態を示す天気図を科学アカデミーに提出した。この天気図は当日の午前中に、電信によって集められた資料に基づいて作成されたものである。ルヴェリエはこの席で、電信時代の総観気象学を特に「Météorologie télégraphique」と呼んだ。

さて当初の観測網はフランス国内の24地点であったが、1858年には国外の15地点を包含した。また、ルヴェリエは粘り強く各国と交渉して観測時刻の統一や気象電報の国際交換と無料化も実現した。

こうして、1858年1月から気象報告が毎日発行され

るようになった。この日報は「21×31 cm」版1枚で、内外約30地点の気圧、気温、風向・風力、空の状態、海の状態の観測表を記載したものである。観測時刻は季節に応じ朝7時または8時で、別枠に前日までの遅延電報と、パリの3時・6時・9時・正午における上記観測値と雨量並びに最高・最低気温が記載されている。そしてようやく1863年9月から、天気図と概況を掲載した「18×23 cm」版4頁の日報が発行された。概況の頁はルヴェリエの署名入りである。天気図には5 mmごとに等圧線が描かれ、凡例に従って気圧・風・空（海）の状態が各観測点に記入してある。概況は一般的な気象状況と翌日の天気判断（天気予報）を述べている。ちなみに当時、パリ天文台はヨーロッパの約60地点と観測網を組み、8時の資料を11時までに受信し、未処理の気圧はパリ天文台で温度補正と海面更正を加えた。こうして、フランスは国の事業として天気図を毎日発行する最初の国となった。

一方、1863年から港湾に対して電信による警報業務が始められた。当初、海軍はルヴェリエの警報業務を主に陸上用と解していたが、翌1864年からは海軍大臣の要請で軍港にも日報が電信によって送られるようになった。ルヴェリエは軍艦や商船のために嵐の進行を関係の沿岸域に通報できる常時体制の確立を考え、18時の観測資料を利用する夜間の業務も実施した。しかし、御多分に洩れず「職員の中には夜間勤務を嫌う者がいる」とルヴェリエが率直に言っているように、オールワッチ体制の実施は昔も今も問題が多い。それでも、1866年には毎日73通の気象電報がフランスの港湾に送信され、5海区に配信された。その日の気象状況によっては2次電報が夜間に送信され、嵐の場合には特別の電報が送信されたことは言うまでもない。この警報業務は外国にも拡大され、港湾の他に首都にもこれらの情報が送信された。

4. 気象業務の発展

天気図の発行と警報業務が一段落した1865年7月、ルヴェリエは科学アカデミーで予報作業の概要を次のように述べている：

『毎日、ヨーロッパ各地から約70通の電報が届く。データを天気図に記入し、等圧線を描いて気象状態を検討し、幾つかのルールに従って翌日の天気の兆候を推測する。その結論（予報）を正午から1時の間にフランス各地と関係各国の首都に送信する。それから、印刷用に観測表と天気図を手書きし、4頁の日報とし

て2時半に印刷し、当日中に予約者へ発送する（注：年会費36フラン）。この日報は皆の協力による作品で、趣旨に照らし表題を国際日報とした』。

この日報は、現在の印刷天気図に相当し、当時の最も完全なデータ・セットであった。また、パリ天文台は、アメリカとロシアを含む各国の協力を得て艦船の海上資料を用い、北アメリカからシベリアまでの広域の日々天気図を作成した。航空気象で言えば、各空港での着後報告を集めて航空天気図を解析するのと同じで、時間的には遅れた天気図であっても、正規時刻の天気図では得られない情報として貴重である。また、この広域天気図は後に集大成され、「大気大循環図」や「世界気象図」として刊行された。それで当時、パリ天文台は気象学活動の中心の観を呈した。

かねてからルヴェリエは農業に必要な気候の研究のために気候観測網の展開を考えていたので、港湾に対する警報業務に目途がついた1864年、文部省を介して県知事に「師範学校で毎日、気象観測を実施する」ことを依頼し、県議会から補助金を受ける県気象委員会の設立を要請した。その結果、60校がこの要請に応えた。各校に用意された測器は次の通り：

フォルタン気圧計、最高温度計、最低温度計、乾湿計、雨量計および風向計各一式。

（注：合計250フラン県議会負担）。

これは間接的に小学生にも気象知識を広める効果があり、現在の学校気象の先駆けとも言えよう。

そして同じく1864年、ルヴェリエは収穫に大きな被害を与える雷雨とそれに伴う洪水を予報するために、県知事に要請して、県内各郡に熱心な観測者一人を置き、その観測者に雷雨の特性（移動方向、継続時間、降ひょう、電光、雷鳴、人的・物的被害など）を記録して貰うことを依頼した。この記録の調査に基づき作成された全土と県別の雷雨天気図は予報の重要な基礎資料となった。こうして翌1865年1月から雷雨予報の伝送組織が設けられ、同5月から電信による通報が開始された。ちなみに、熱心に優れた記録をルヴェリエに報告した観測者の一人、ムーズ県の水理技師ポアンカレという人は後のフランス大統領ポアンカレの父で、数学者ポアンカレの叔父であるという。

ルヴェリエはこのように航海（港湾）に対する警報業務に始まって農業に対する警報業務へと気象業務を発展させたが、その基本構想は「大気の大規模運動の研究と、それに関連した予・警報はパリ天文台が扱い、局地の気候の研究と局地規模の現象の予報は県気象委

員会に任せ、これに対する助言や組織の育成はパリ天文台が責任を持つ」ということであった。

しかし、農業に対する警報業務に必要な「パリ天文台～各県～県内各郡」という伝送網を全国的に展開することは大事業であり、決して容易ではなかった。ようやく1873年以後になって、主要県の整備が完了した程度である。しかし、県気象委員会がそうした態勢や要件を満たしていない県からも展開の要請が殺到した。ルヴェリエは晩年の1876年5月、農業に対する警報業務は理論の領域から実践の領域に移ったとし、「気象学は今や要請する立場から要請される立場になった」とソルボンヌで高らかに宣言した。

しかし、これは決して大言壮語の類ではない。気象業務を発展させるため、「要請」に明け暮れた年月を顧みての実感と言えよう。ところで、ルヴェリエは1864年、農業に対する気象業務を展開するため、各県議会議長にも協力を要請しているが、その中で彼は気象学について次のように述べている。

『気象学の研究は理論的にも実際的にも今まで期待できる程の結果に達していない。しかし、これは何も驚くに当たらない。それは人々が大気の運動の法則で未だ触れられていない細かい事柄にこだわり過ぎるからである。自然現象の研究は、2次的な多くの原因によっても一般的な結果が変わらないような事柄から始めるべきことを科学の歴史は示している。しかし、大気の現象を観測し議論することは非常に困難である。それは一度に極めて広大な範囲、全地球表面とは言わないまでも、出来たらそれに越したことはないが、を見渡さねばならないからである。それに、海流、特に湾流、貿易風、回帰風、極風並びにこれらの運動の主な原因である太陽の作用、大陸の昇温、地球の回転など総べての要因を考慮しなければならないからである。また、観測について言えば、100年続けられたとしても脈絡のない資料よりも、1年でも各所で一度に確認された資料の方が遥かに優れている。』

彼は続けて、ヨーロッパ全域から大西洋に至る広域の気象を解析する必要性を説いた後、フランス国内の局地の気候を研究する重要性とその時機が到来したことを述べ、「学問(研究)と応用は一体であるから両者を区別する必要はない」という見地に立って、「毎年農村に大きな被害を与える雷の研究のために観測網を密にする必要がある。多くの雷は、移動・強さ・範囲など何も知られないまま、県庁所在地間を通り抜けている。これでは雷雨の研究は不可能で、少なくとも県内

1郡1観測所は必要である」と訴え、議長達の経費上の心配を考慮して「観測は篤志家に依託し、主として目視による正確な記録を報告して貰う」と説明した。これは依託観測の走りであり、アメダス展開までの区内観測所とか乙種観測所に当たる。彼はこのような観測記録の調査によって得られた気候特性を利用して雷雨のような局地の現象を統計的・気候的に予報するという現在にも通じる方法の研究を推進した。

天文学では理論的な業績で世界的名声を博したルヴェリエが気象学では極めて実際の気象業務の発展に尽くしたことは興味深い。そこで、彼がどのような生涯を送ったか、その伝記を次節で紹介する。

5. ルヴェリエ小伝

ルヴェリエは海王星の理論的発見者として19世紀における最も有名なフランスの天文学者である。海王星発見の物語は、例えば武谷三男氏の「物理学入門(上)」(岩波新書、1952)に古典力学の最後を飾る出来事として極めて興味深く記されているように、力学に対する関心を刺激せずにはおかない。しかし、彼の気象の業績については、百科事典や人物事典でも記されていないことが多い。

もちろん、気象の分野では大抵の書物に、「黒海の嵐」と国の事業として他国に先駆けて天気図を毎日発行し気象業務を確立した彼の事績が述べられているので、ルヴェリエのことは言わば常識となっている。とは言え、もはや余り話題に上ることもない時代になったことも事実である。それで、ここに改めて、「黒海の嵐」140周年にふさはしく、彼の生涯をパリ天文台とフランス気象庁の資料に基づいて簡単に紹介しておく。

「Urbain J. J. Le Verrier」が彼のフルネームで、真中の頭文字は「Jean Joseph」である。ルヴェリエという姓は珍しいが、ヴェリエは「verre (ヴェル)：ガラス」から分かるように「ガラス職人、特にステンドグラス職人」という意味である。冠詞が付いているので先祖はその道でかなり著名な人だったのかも知れない。名前のユルバン (Urbain) は英語のアーバン (urban) と同じく「都市の」という意味である。これも名前としては珍しいが、十字軍の提唱者として知られる「ローマ法王ウルバノス (ウルバン) 2世」と同じであるから由緒ある名前なのだろう。

さて、ルヴェリエは1811年3月11日、ノルマンディーのサン・ローに生まれた。サン・ローはマンシュ県の県庁所在地で、カトリーヌ・ドヌーブ主演のフランス

映画「シェルブールの雨傘」で知られるノルマンディー半島先端の港町シェルブールから南東約 70 km, また第 2 次大戦で連合軍のノルマンディー上陸地点として有名なバイユーの南西約 30 km の内陸にある。イギリス海峡（マンシュ海峡）を望むセーヌ湾岸には海岸リゾートとして知られるドーヴィルのすぐ東に古い港町オンフルールとフランス第 2 の港町ルアーブルがある。彼が後年、警報事業、特に船舶基地への警報伝達組織の整備に精魂を傾けたのは、その精神的背景にこのような故郷の風土があったからだと言われている。

ルヴェリエはポリテクニクを出てから、初めはあの有名な化学者ガイ・リュサックの下で化学の研究に携わったが、後に天体力学の研究に没頭する。1845年、パリ天文台長のアラゴ (1766-1853) に招かれ、天王星摂動の原因を研究することになった。アラゴも有名な物理学者でポリテクニクの教授から1834年に天文台長に就任した人で、現在もパリ天文台の直ぐ南の「アラゴ大通」にその名を留めている。ルヴェリエはこのアラゴに励まされ、遂に摂動の原因を未知の惑星の存在によるものと推論して、その位置と軌道を計算し、この未知の惑星の探索を各地の天文学者に依頼した。1846年9月23日、ルヴェリエの手紙を受け取ったベルリン天文台のガレはルヴェリエの示した位置の近傍に、後に海王星と命名される目当ての惑星を発見した。ルヴェリエはこの発見によって名声を博し、時のフランス王ルイ・フィリップはルヴェリエを招いてその功績を讃え、またソルボンヌは彼の為に天体物理学の特別講座を設けた。

さて、1854年、アラゴの後を受けてパリ天文台長に就任したルヴェリエは以後約25年の人生を気象業務の発展に捧げるが、この情熱はアラゴに啓発されたものである。アラゴが気象学にも強い関心を持ち、色々の問題を熱心に検討したことは彼の膨大な紀要に多くの気象学の論文が含まれていることから窺われる。ルヴェリエはアラゴの示唆に感銘を受け、言わば「恩師の夢」の実現に精魂を傾けたように思われる。

ルヴェリエは手初めに従来の慣習的な気象観測を改め、いわゆる「定時通報観測」に備えたが、当時の人々には未だその意義が十分に理解されなかったようだ。1853年にはブラッセルで海洋気象学に関する国際会議が開かれたこともあり、電信を軸とする総観的な暴風警報を行う機運はかなり熟していた。

そして、1854年11月14日、「黒海の嵐」の日がやってくる。既に述べたように、これを契機としてルヴェリ

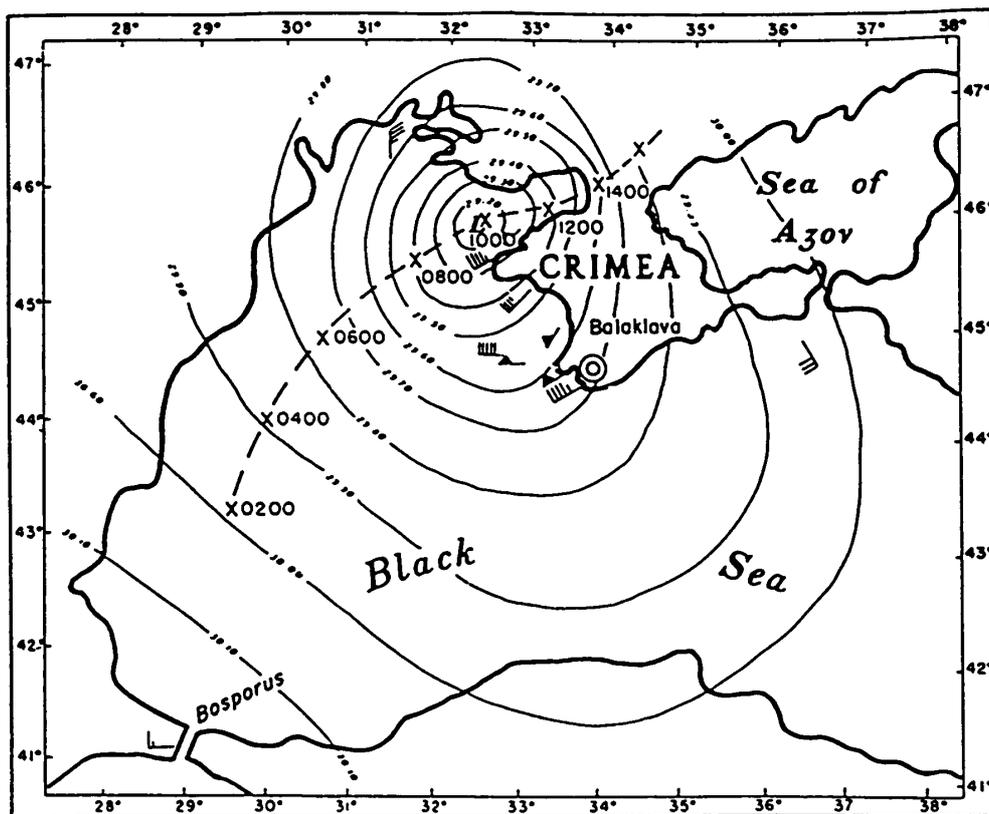
エの提案した「気象観測網と通信網の広域展開並びにそれに基づく総観的な暴風警報組織の計画」が実施され、国の事業としての気象業務が始まった。それまで、研究室の棚に収蔵され、研究室の中で「アカデミック」に利用されていた気象観測資料が言わば「オンライン・リアルタイム」に利用される時代になったのである。しかし、このような「ルーチン」業務の創設は正に「言うに易く、行うに難し」である。それをあの時代に実現したところにルヴェリエの功績があると言える。

ルヴェリエの生きた時代はフランスの激動期で、それなりの苦労があったと思われる。彼が生まれた1811年はまだナポレオン1世の時代、亡くなった1877年は第3共和政の時代である。その間の時代の変化は誠に目まぐるしい。1815年に復古したブルボン家の王政、1830年7月革命でオルレアン家の王政（1846年の海王星発見はこの時代）、1848年2月革命で第2共和政、そして1852年第2帝政（ナポレオン3世）となる。1854年1月、パリ天文台長就任から、「黒海の嵐」の調査、警報組織の創設、気象業務の発展に尽力し、1870年3月、天文台長退任に至る期間はこの帝政時代である。同年7月フランスはプロシアと開戦、9月敗戦で帝政崩壊、第3共和政(1940年まで)となる。その後、1873年2月、衆望を容れたティエール大統領の要請により天文台長に復帰し、1877年9月23日、奇しくも31年前、海王星が発見された栄光の日に在職のまま病没（肝臓病）した。

ちなみに、翌1878年5月、気象業務は天文台から分離、中央気象局 (BCM) が設置され、初代局長にはコレジ・ド・フランスの教授で物理学者のマスカール (1837-1908) が就任。この人は戦前の国際気象機関 (IMO) の第3代総裁を務めている。

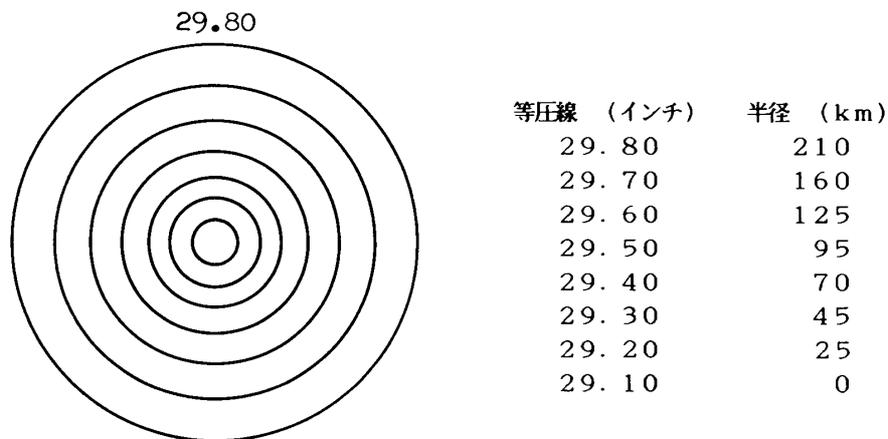
6. 「黒海の嵐」の天気図について

気象学の専門書によく掲載されている「1854年11月14日の天気図」は「黒海の嵐」100周年を記念した Landsberg (1954) の論文「バラクラヴァ暴風と毎日の天気予報」で発表されたもので、第1図がそれである。これは彼が当時の資料を用い、暴風が最盛期であった午前10時（地方時）の天気図として再現したもので、2時間ごとの暴風の中心位置も併示されている。等圧線は「インチ」で表示され、所々に風が矢羽根で記入されている。この天気図によると、中心気圧は29.10インチ (985 hPa) で、風もバラクラヴァ付近では50ノット



Pressure chart on 14 November 1854 (H. Landsberg, 1954)

第1図 1854年11月14日10時(地方時), クリミア半島地域の天気図。「黒海の嵐」の最盛期と見られる天気図でランツベルク博士が当時の資料に基づいて再現したもの。破線は当日2時から14時までの2時間ごとの中心径路。等圧線は図の左下, ボスフォラス付近の短い等圧線(30.10インチ)を最高に順次中心まで0.1インチごとに表示。



第2図 第1図の「黒海の嵐」の閉等圧線を同心円と仮定した場合のパターン。第1図と同じ縮尺で, 各等圧線の半径は右に表示。最外側の等圧線(29.80インチ)は第1図で欠けている部分を適当に補い, 平均半径を推定。

になっているから、これは台風並みの暴風である。当時、付近の多くの艦船も10~11の風力、中には12（ハリケーン）、を観測しているという。

さて、「文永・弘安の役：蒙古襲来」や「フランス革命」など天気によって大きく影響された歴史上の幾つかの重大事件を研究している Lindgrén and Neumann (1980) は「クリミア戦争と天気の関係」も論じている。その中で彼等は上記「黒海の嵐」の天気図を引用して次のような解釈を示している。

「クリミア半島西岸の沖合の気圧傾度を次のように
0.1 in/25~30 km (≡3.4 hPa/27.5 km)

と推定し、空気の密度(ρ)とコリオリ・パラメータ(f)をそれぞれ

$$\rho = 1.25 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$f = 10^{-4} / \text{s}$$

として地衡風を適用し、次の風速を算出した。

$$\text{地衡風速} \approx 100 \text{ m/s.}$$

そして、摩擦係数を0.6と仮定しても「風速=60 m/s」は強過ぎるとし、元の古い資料がこのような非現実的な結果（高過ぎる気圧傾度）を導いたのであろう。』と述べている。元の古い資料は勿論、この天気図の再現の仕方や等圧線の引き方などに問題があるかも知れないが、そういう霧の中の議論は意味がないので、以下、この天気図をそのまま考える。

第1図に示されるような気圧パターンに対して地衡風を適用するのも一つの見識であろうから、ここで敢えて反論はしない。しかし、別の見識として傾度風を同じ条件で適用すると、次のような風速が得られる。但し、中心からの距離は、100~150 kmの間では大差ないので、仮に125 kmとする。

$$V_{gr} \approx 30 \text{ m/s}$$

$$V_{grs} \approx 20 \text{ m/s} \quad (0.6)$$

$$V_{grs} \approx 20 \text{ m/s} \quad (0.7)$$

地衡風では摩擦係数を仮に0.5としても風速は50 m/s となって強過ぎるが、傾度風では海上の摩擦係数(0.7)でも穏当な風速となる。

もう一つの見識として、旋衡風を同じ条件で適用すると、次のような風速が得られる：

$$V_{cy} \approx 35 \text{ m/s}$$

$$V_{cys} \approx 20 \text{ m/s} \quad (0.6)$$

$$V_{cys} \approx 25 \text{ m/s} \quad (0.7)$$

これは天気図上のペナントと比較して、海上では妥当な値である。従って、Landsberg が再現した天気図に疑念を持つことはないように思われる。

しかし、これだけでは部分的な考察に終わり、由緒ある天気図に対して申し訳ない。そこで、全体の気圧パターンについて、あまり難しいことは考えず、当時の話題である「旋回性の暴風」という見地から若干の考察を加え、「黒海の嵐」140周年を飾りたい。

「旋回性の暴風」は Hildebrandsson and Teisserenc de Bort (1898) が彼等の著書「気象力学の基礎」の中で「熱帯の暴風と同じ特性を持つ暴風、すなわち低気圧を伴う旋回性の暴風」として特に「ヨーロッパにおける旋回性の暴風」の章を設けているように、当時の重要な航海上の話題であった。そして、彼等はその章の初めにルヴェリエの業績を詳しく紹介し、「黒海の嵐」を「旋回性の暴風」の総観的な認識の出発点としている。ちなみに、「旋回性の暴風」という言葉の名残は今も航空に生きている。航空気象で、「悪天」として国際的に定義されている現象の一つ「トロピカル・レヴォルヴィング・ストーム（台風と訳）」がそうである。

さて、「黒海の嵐」を「旋回性の暴風」という見地から Landsberg の天気図で眺めてみると、この気圧パターンはペナントで挟まれた29.60インチの等圧線を最強風速帯とする「ランキン複合渦」を示唆しているように思われる。そこで、「ランキン複合渦」であるが、この渦の風速分布式と気圧分布式は内域と外域に分けて表示する不便があるため、近似式として次に示す有名な「ビヤークネスの渦：B渦 (V. Bjerknes *et al.*, 1934; Godske *et al.*, 1957)」と無名の「M氏の渦：M渦 (股野, 1955)」を用いる。なお、風は簡単のため旋衡風とする。

「B渦」の場合

$$V = 2V_m (r/b) / \{1 + (r/b)^2\} \quad (B1)$$

$$P = P_z - \pi / \{1 + (r/b)^2\} \quad (B2)$$

$$\pi = P_z - P_c = 2\rho (V_m)^2 \quad (B3)$$

$$P_m - P_c = \pi/2 = P_z - P_m \quad (B4)$$

「M渦」の場合

$$V = 2.718V_m (r/b) e^{-(r/b)} \quad (M1)$$

$$P = P_z - \pi \{1 + 2(r/b)\} e^{-2(r/b)} \quad (M2)$$

$$\pi = P_z - P_c = (\rho/4) (2.718V_m)^2 \quad (M3)$$

$$P_m - P_c = 0.6\pi, P_z - P_m = 0.4\pi \quad (M4)$$

ここで、

V : 風速 (m/s)

V_m : 最強風速帯の風速

r : 中心からの距離 (km)

b : 最強風速帯の半径

P : 気圧 (hPa)

第1表 第2図に示した円形等圧線パターンに基づく旋衡風による等圧線チャンネルの風速分布。(参考として(B1)と(M1)による風速を併示).

等圧線チャンネル (in)	r (km) チャンネル中央までの距離	Δr (km) チャンネル幅	V _{cys} 施衡風 V _{cy} ×0.7 (m/s)	V _{BS} (B1) による風速 ×0.7 (m/s)	V _{MS} (M1) による風速 ×0.7 (m/s)
29.					
80~70	185	50	22.3	24.1	22.9
70~60	142.5	35	23.3	25.8	24.8
60~50	110	30	22.1	25.8	24.8
50~40	82.5	25	21.0	23.9	23.2
40~30	57.5	25	17.6	19.7	19.7
30~20	35	20	15.3	13.5	14.4
注) ΔP=0.1 in=3.4 hPa ρ=1.25×10 ⁻³ g/cm ³ V _{cy} = [(r/ρ) (ΔP/Δr)] ^{1/2}				V _{ms} =26 at r=b =125 km (29.60 in)	V _{ms} =25 at r=b =125 km (29.60 in)

P_z : 周囲の気圧 (理論的には r→∞の気圧)
 P_c : 中心の気圧
 P_m : 最強風速帯 (r=b) の気圧
 ρ : 空気の密度 (g/cm³)
 e : 自然対数の底 (=2.718)
 空気の密度を前と同じように
 ρ=1.25×10⁻³g/cm³
 とすると、最強風速の式は (B3)・(M3) から次のように与えられる:

B渦: $V_m = 6.3 \sqrt{\pi}$ (m/s)
 (π: hPa)

M渦: $V_m = 6.6 \sqrt{\pi}$ (m/s)

天気図から

P_m = 29.60 in = 1002.4 hPa

P_c = 29.10 in = 985.4 hPa

であるから、(B4)・(M4) によって π を求め、上式から最強風速を求めると次のようになる:

B渦: V_m = 37 m/s, 但し π = 34 hPa,

M渦: V_m = 35 m/s, 但し π = 28 hPa,

前と同じように、摩擦係数=0.7を用いると、

B渦: V_{ms} = 26 m/s

M渦: V_{ms} = 25 m/s

となり、前に気圧傾度から求めた旋衡風速 V_{cys} とほぼ同じ値になる。また、(B3)・(M3) から、周囲の気圧 (P_z=P_c+π) を求めると:

B渦: P_z = 30.10 in (≒1020 hPa)

M渦: P_z = 29.94 in (≒1014 hPa)

となる。筆者の経験では、それぞれの渦の特徴から、「B渦」の場合は周囲としてやや外側に、「M渦」の場合はやや内側になるので、30.00インチが周囲ということになる。そして、天気図も30.00インチ等圧線を影響範囲の限界として表している。

これまではペナントに挟まれた等圧線 (29.60インチ) を最強風速帯と仮定し、中心気圧 (29.10インチ) のみを用いて客観的に、「黒海の嵐」が内域を有する回転流体の渦としての力学的特性を備えた「旋回性の暴風」であることを検証した。

次は、気圧パターンが果たして内域を有するランキン型の複合渦になっているかどうかである。それを確かめるには等圧線チャンネルごとの風速分布を調べればよい。しかし、中心付近の等圧線を除き、大部分の等圧線は円形から多かれ少なかれ歪んでいるので厄介である。この歪みについては (筆者を含め) 幾つかの解釈が可能であるが、それは既述のように霧の中の議論になるため、ここでは歪みの原因には触れず、単純に各等圧線の平均半径を求めて円形化した。それが第2図で、閉曲線を推定し得る29.80インチの等圧線を最外側に、天気図と同じ縮尺で「黒海の嵐」の円形等圧線パターンを表したものである。

第2図に示される各等圧線の平均半径から、等圧線チャンネルの幅 (Δr) とチャンネルの中心線の半径 (r) を用いて各チャンネルごとに求めた旋衡風の分布を第1表に示す。空気の密度は前と同じで、表示の風速も「計算風速×0.7」である。

これによると、「29.70~29.60 in」のチャンネルに風速のピークがあり、気圧パターンも「黒海の嵐」が内域を有する回転流体の渦として「旋回性の暴風」であることを示している。これは Landsberg の天気図の妥当性の検証でもある。

7. おわりに

「黒海の嵐」140周年を記念して、ルヴェリエの気象学上の業績と生涯を回顧し、あわせて「黒海の嵐」当日の天気図について考察を試みた。「出来れば全地球を覆う観測網を」と言って電信を軸とした気象業務を世界に先駆けて国際的に展開した彼の夢が、気象衛星と情報通信技術を軸とする「世界気象監視」として実現したことを同業者として喜びたい。

歴史的な人物に有り勝ちであるが、ルヴェリエの記事にも文献による相違がある。それを論証するのが目的ではないので、この解説ではもっぱら、基盤が共通している Hildebrandsson *et al.* (1898) の著書、Danjon (1946) の論文及び Dettwiller (1978) の論文を読み合わせ、Observatoire de Paris (1946) の資料と照合しながら引用を総合的に取りまとめた。ちなみに、論文発行年の1946年は海王星発見100周年、1978年はフランス気象庁創立100周年である (Landsberg の1954年は既述の通り「黒海の嵐」100周年)。

さて、この解説で述べたように、ルヴェリエは1854年にパリ天文台長に就任すると早々に、電信時代の気象学と気象業務を目指して厳格な「定時観測」を実施した。そして、気象観測・通信網の国際的展開と通報体制並びに警報常時体制 (オールワッチ体制) に基づく気象業務の確立の具体的な計画に着手した。彼が「黒海の嵐」の調査報告と共に提出した警報組織に関する計画の「完全さ」は、台長就任以来練ってきた計画だったからである。従って、「黒海の嵐」は確かに大きな契機ではあるが、総観気象学の幕開けは彼の台長就任と共に始まったとも言えよう。

そして、時代を先取りした気象観測・通信網の国際展開に対する彼の自信は、「黒海の嵐」の調査に当たり、各国の天文学者・気象学者が彼の要請に応じて多数の

資料をいち早く送ってくれたことに象徴されるように、8年前の「海王星」探索依頼とその発見に伴う彼の世界的名声に負うところが大きい。

奇しくも、ルヴェリエは彼にとって最も輝かしい「海王星発見の日」でもあり、秋分の日にも当たる「9月23日」に此の世を去った。この解説をメモリーとして彼に捧げることを許して頂きたい。

この解説を終わるに当たり、21世紀を目前に大きな発展が期待される総観気象学に対し読者の皆さんが一層の関心を寄せられることを心から切望します。

参考文献

- Bjerknes, V., J. Bjerknes, H. Solberg et T. Bergeron, 1934 : Hydrodynamique physique avec applications á la météorologie dynamique, Presses Univ., 136-137.
- Danjon, A., 1946 : Le Verrier Createur de la Météorologie, *La Météorologie*, 6, 363-382.
- Dettwiller, J., 1978 : Le Verrier et la Naissance de la Météorologie Moderne en France, *La Météorologie*, 6, 149-171.
- Godske, C. L., T. Bergeron, J. Bjerknes and R. C. Bundgaard, 1957 : Dynamic Meteorology and Weather Forecasting, Amer. Met. Soc. & Carnegie Inst., 365.
- Hildebrandsson, H. H. et L. Teisserenc de Bort, 1898 : Les Bases de la Météorologie Dynamique, Gauth.-Vill. Fil. Tome 1, 65-76.
- Landsberg, H., 1954 : Storm of Balaklava and the Daily Weather Forecast, *Sci. Mon.*, Dec., 347-352.
- Lindgrén, S. and J. Neumann, 1980 : Great historical events affected by the weather-5. Some meteorological events of the Crimean War and their consequences, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 61, 1570-1583.
- 股野宏志, 1955 : 「回転球状流体殻における角速度の緯度分布について」 (日本気象学会昭和30年度大会).
- Observatoire de Paris, 1946 : Le Verrier et son Temps (Catalogue).
- Observatoire de Paris, 1946 : Le Verrier et la Météorologie (Trois Siècles d'Astronomie, 45-58).