

コロナ・コンデンセーション

齊藤 国治*

1. 太陽コロナのうちで、局部的に特に輝いて見える部分をコロナ・コンデンセーションと命名したのはM. ワルドマイヤー (1950) である。コンデンセーションという言葉はコロナ物質が局部的に凝集 (condense) しているところというほどの意味であろう。彼 (1963) の古文献調査によると、この現象は今から約百年前にすでに気付かれていたという。たとえば、1858 年日食に E. リエスは太陽の東へりに輝いた突起物を認めてこれを「白いプロミネンス」と記述しているというが、これが記録として最も古いものようである。ついで 1883 年日食には、P. タキニが再びこの現象を観測してやはり「白いプロミネンス」と記録しているという。さらに、1886 年日食時に W. A. ピカリングもコロナの一部に特に強い連続スペクトルを出す箇所のあることを報告している。この白いプロミネンスについては、その後の日食観測に多くの観測プログラムが企てられ、たとえば 1905 年日食には A. ウォルフは特にこの現象を目標に観測準備をしていた。ところがどういふわけか、この日食においてもまたその後の日食においても、この現象はさっぱり姿を見せなくなってしまった。そして次第に人々の関心はうすらぎ、やがて日食観測プログラムからもはずされて忘れられてしまったようである。しかるに、最近わが国の日食観測隊が遠征をおこなった両度の日食——すなわち 1958 年のスワロフ島日食と 1962 年のニューギニア日食において、ともに著しいコロナ・コンデンセーションが現れてわれわれの関心を刺激した。

「白いプロミネンス」と普通のプロミネンス (つまり紅焰) との違いは一見して明瞭である。まず色がちがう。普通のプロミネンスは皆既日食時に見るところでは、赤紫色の焰状であり、これを分光分析すると水素・ヘリウム・カルシウム等の輝線スペクトル群に分解される。一方、白いプロミネンスは日食時にこれを見ると、形状はプロミネンスに似ているがキラキラとした白光をはなち、これをスペクトルに分解すると強い連続スペクトルにかさなってコロナ特有の輝線群があらわれる。連続スペクトルは太陽光球のそれと同じであるが暗線を欠いており、このことはコロナ輝線の存在と相まってコンデンセーションが甚しく高温のプラズマの集合であることを物語っている。

2. 以上は日食時の所見であるが、これとは別にコロナグラフによって日食以外の時にコロナを観測すること

が 1930 年代にはじめられ、この頃からコロナの常時観測がおこなわれるようになった。1938~39 年の間にワルドマイヤーはコロナ輝線のうち最も明るい波長 5303Å の光でコロナのルーチン観測をしているうちに、しばしば太陽への黒点群の上空に形は紅焰に似ていて異常に輝く構造物を認めた。これはコロナ輝線による観測だからもちろん普通のプロミネンスではありえない。その後この種の現象に注意を払って観測を続けているうち、1952 年までに彼の観測手帖には総計 238 個のいわゆるコロナ・コンデンセーションのスケッチが書きこまれるにいたったという (1957)。この観測は通常 5303 線を使っておこなわれるが、赤線 (6374) や黄線 (5694) で観測されることもある。

今となっては歴史的意味しかないが、ワルドマイヤーの分類 (1957) によると、コンデンセーションは下のようないろいろの形に見えるという。

隆起状——横延数度角、高さ 1 分角、構造少なくフチがぼけている。

流線状——直線状で太陽へりから外向きに減光している。大てい半径方向にのびているが斜めのものもある。

柱状——流線に似ているが外向きに減光していない。

傘状または橋状——柱の頭部に水平の傘のあるもの。数個並ぶと傘が連結してしばしば橋のように見える。

孤状——ループ状で細長いものも平らなものもある。

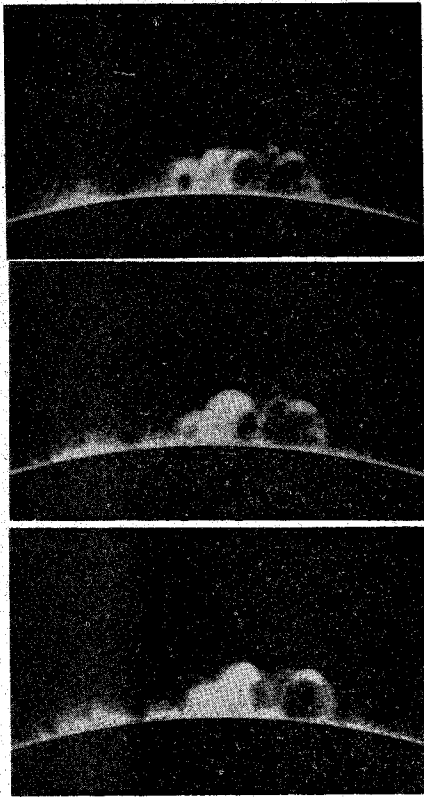
結節状——高さ 1~2 分角のところしばしば光る結節がある。そこから彎曲した数個のランナーが出ていることがある。

これらの特徴は数分のあいだに著しく様相を変えることがある。一たん消滅して数時間後に同一場所に再出現することも多い。これらの現象は今から考えると、散発的コンデンセーションと命名せらるべき部類のもので、広義のコンデンセーションのうちの核の部分構成していると考えられる。核の外側には大きなハローが取巻いていてこれは数週間の寿命をもっているから永続的コンデンセーションといわれている。

散発的コンデンセーションについて判明した観測事実は、その形状の見かけ上の変化は実は部分部分の輝度が増減したためであって、発光物質が空間を移動したためではないということである。ドブラー変位を調べてみても大体において 5 km/sec. より小さくて、物質の移動は認められない。もっとも極く稀に 30 km/sec. 以上の移動速度を記録した例はある。コンデンセーションはまた大きな活動域 (F 型黒点群) の上空に多く現れる傾向が

* 東京天文台

K. Saito: Coronal Condensations.



散発的コンデンセーションの時間変化
上から 16^h53^m, 16^h44^m, 16^h54^m U.T. の順の
撮影 (サクラメント・ピーク天文台)

あり両者の間に密接な関係があるらしい。ことに明るい散発的コンデンセーションのあと、その頂点のあたりからループ状のプロミネンス (紅焰) が発達することがよく認められる。サクラメント・ピーク天文台で撮っている写真によると、散発的コンデンセーションはほとんど皆ループ状をしているようである (写真を参照)。

3. cm, dm 波の太陽電波を観測すると、S成分といっってほぼ 27 日週期で自転する安定したノイズ源が太陽面上にあることが知られている。ワルドマイヤー・ミュラー (1950) の統計によると、これは黒点群とよい相関をもち (相関係数 0.82)、これはコロナ・コンデンセーションの熱放射の電波部分で説明されることが示された。畑中その他 (1955) は 1955 年日食で、太陽面上を月が掩蔽していくにつれて電波強度の時間変化を観測して、その発生部が白斑と場所的に一致することを報告した。田中・柿沼 (1958) は 1958 年金環食を偏波観測して、磁場を確認し偏波発生源が活動域上の比較的小区域に限定されていることを示した。

ワルドマイヤーは多くの観測統計から第 1 図のごときコンデンセーションのモデルをつくった (1950)。それによるとコンデンセーションは半径 85000 km の半球状

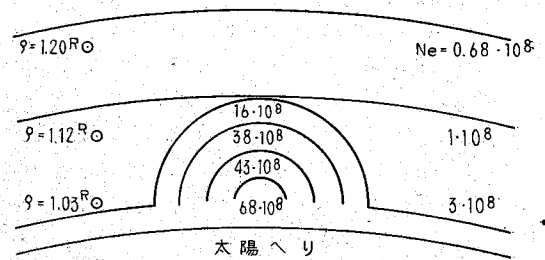
で底平面を彩層上に接しており、内部構造は 4 個の同心殻から成り、中心核内で電子密度が最も高く外方に向けて減じている。簡単のために各殻の厚さは等しく同じ殻内の密度は一樣とする。図には太陽距離 ρ に伴って電子密度 N_e の変化を等密度曲線で表現してある。なお、中心核の輝度はコンデンセーションがない一般コロナのところの輝度の 4~5 倍程度である。このモデルでは温度や磁場の分布についての規定はない。

ニューカーク (1961) は K コロナメーターによる観測から活動域上空のコンデンセーションとして流線状のモデルを考えた (第 1 図 b を見よ)。これはワルドマイヤー・モデルよりかなり上空 2R_☉ までの形状を示すものと考えれば両者のモデルの間に矛盾はないといえよう。

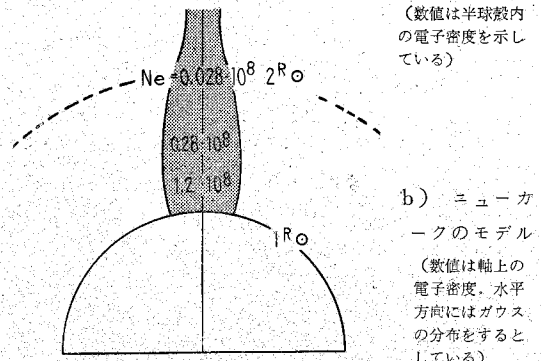
近年ロケット観測によって、コンデンセーションから放射する軟 X 線 (15A 以下) の測定がおこなわれているから、今や波長の大きい異なる三種の電磁波によるコンデンセーションの観測が可能になっているわけである。

4. コンデンセーションの温度とその分布については、いまだ議論の多いところであり、温度決定法の種類によって系統的に異なった結果が出ているようである。以下、項目別にのべて見よう。

密度分布から求める方法——コロナを構成するガスは太陽の重力とそれから逃脱しようとするガス運動との釣り合いである拡がりを持っている。ガス運動は温度の関数だから、コロナの拡がりまたは密度勾配を知れば温度が求められる。この方法を使って日江井 (1961) は 1958 年



a) ワルドマイヤーのモデル



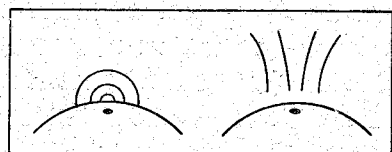
b) ニューカークのモデル
(数値は軸上の電子密度、水平方向にはガウスの分布をずらすとしている)

第 1 図 コンデンセーションの電子密度モデル

皆既日食時のコロナ・コンデンセーションで太陽面 8 万 km 以上の上空の温度として、0.9 百万度を求めている。ニューカークの K コロナメーターによる結果もかなり上空の温度として 1~2 百万度が出されている (1961)。コンデンセーション中に磁場が閉塞しているとその影響で温度を低く目に見積る傾向になるから、この方法で正しい温度を知るためには磁場の影響の補正が必要であるかも知れない。

電離理論から求める方法——電離ポテンシャルの高いコロナ輝線は高温で発輝を強め、電離ポテンシャルの低い輝線は低温ガス中のみ見出される。つまり、イオンはそれぞれ最大光輝を示すに適した温度をもっている。従って、輝線強度をはかると温度が求められる。ただし、衝突等の作用の断面積にまだ不明の点があって直接的に温度を計算できぬ事情があって、2 輝線の強度比をつかって推算するのである。アリ・エバンス・オラル (1962) によれば、1952 年日食時に現れたコンデンセーションではその中心で密度および温度が最大になる結果を得ている (ただし、太陽へりから 1:5 の高さで)。黄線 (5694, Ca XV, 電離ポテンシャル=821 eV) は輝度分布がコンデンセーションの中央部に集中を示し、緑線 (5303, Fe XIV, 355 eV) は中央に極大を示すがまた左右にも高い裾 (ハロー) をもつ。ところが赤線 (6374, Fe X, 235 eV) は中央ではかえって輝度が減って両裾で二つの極大を示している。これらから温度を推定すると (1963), アルゴン線からはコンデンセーション中央部で、1.45 百万度、鉄線からはハロー部で 0.70 百万度、ニッケル線からはコンデンセーション全般として 1 百万度となるという。これらに混って黄線 5694 を発光させるに十分な高温 (3 百万度またはそれ以上) が共存してはならない。シートンによれば、現在の電離理論が正しければ、コンデンセーション中の同一空間に Fe X と Ca XV とが共存することは全く不可能であるというから、観測事実をいかに解釈すべきであろうか。ジェフリースその他 (1963) はコンデンセーション中に観測的には分解不可能なほど小さい低温構造が混在していると仮定してこの困難を回避しようとしている。この種の考えから、西・中込 (1963) は中核で 4 百万度、これを取巻くハロー部で 2.4 百万度と 1.7 百万度の混合ガスからなるモデルを考えている。鈴木・平山 (1964) はさらに、4 種の温度 (2.3, 1.3, 0.9, 0.45 百万度) のガスがコンデンセーション中に混在すると見ている。それぞれは磁場に運動を拘束されて急速には混合しない状態にあるのであろう。なお電離理論から求められる温度には断面積についての不確かさがからんでくるので、相対値はとにかくとして、絶対値については今後大幅の改訂がありうる。

線プロファイルから求める方法——発光イオンはその温度に応じたドブラー効果を示すので、線幅を測ると温



第 2 図

左：ワイルドの磁場モデル
右：キーペンホイヤーの磁場モデル
コンデンセーション内の磁場の模様については二つの意見がある

度が求められる。ピリングス (1963) は 5694 線の幅を測って 4.2 百万度を求め、また 5303 線のプロファイルを解析して 2~3 百万度の高温部と 1 百万度程度の低温部との混在していることを認めた。ジャレット・フォンクリューパー (1955) は 1954 年日食で、5303, 6374 線の干渉計観測から 2.4~3.3 百万度を出している。発光ガス体が乱流をしている場合にはその補正をすると、上に求めた温度値よりもよほど低い温度になるはずである。

ラジオ放射から求める方法は cm, dm 波で太陽雑音量を測るとその温度が求められる。ただしアンテナの分解能が不十分なので発輝面積のきめ方に仮定をおくためある程度の不確かさがある。柿沼 (1962) は自分の観測からコンデンセーションの温度として 2~4 百万度、また河鱈 (1960) は統計調査から 4~6 百万度を出している。

軟 X 線放射から求める方法——高温のコンデンセーションからは当然軟 X 線が放射されている。エルウェルト (1950) の理論計算とヒンテレガー (1961) のロケット観測とを総合して 3~6 百万度あたりの温度が出される。

太陽風理論から求める方法——パークー流の流体力学を応用した非等温コロナの仮定から、ピリングス (1963) は、太陽距離 1.03R_☉ で 2.6 百万度、それより先きでは 1 km 当り 3° の温度降下になると出した。最近の斉藤・ピリングス (1964) の研究では核の外での温度として 1~1.5 百万度の値を出している。

5. コンデンセーション中に磁場があることは、偏波観測から明らかであるが、赤羽 (1958) は黒点上空で平均 700 ガウスの磁場を仮定して観測を説明しようとし、田中・柿沼は偏波成分スペクトルから磁場の強さとして 1000 ガウス以上を結論している。河鱈 (1960) も 1000~3000 ガウス程度を要求している。別の論文で柿沼・スワロブ (1962) は黒点群上空 2 万 km で 600 ガウス、4 万 km で 250 ガウス程度の漸減磁場の存在を推論している。

活動域上空の磁場の方向分布については、1963 年シドニーで催された太陽シンポジウムで活発な議論がたたかわされた。ワイルドによれば、コンデンセーション内の磁場は静かなプロミネンスの形状の類推からも判るよ

ろに、ループ状に閉じているべきだという。一方、キーペンホイヤーによれば、フレア発生直後に電子や陽子が大量に太陽から放出される事実を説明するためには、磁力線は放射状に開いていなければならないという。この正面衝突をしている二つの考え方に対しては、コンデン

セッション核の近傍ではワイルド流に磁場は閉じていて、ハローの部分では外方に開いていると考えればよいであろう。そのような観測結果も得られている(斎藤・ビリングス, 1964)。

ハイデルベルクのこゝ

進 士 晃*

去年の4月から、今年の2月まで、西ドイツに遊ぶ機会を得て、そのほとんどをハイデルベルクで過ごした。ロングフェローが、「ヨーロッパで最も美しい」と讃えたこの町は、ライン平原の東縁、ネッカーの流れが、東方の山々を割って出る谷の入口にあり、北岸のハイリゲンベルクと、南岸のケーニヒ・ストゥールとに挟まれた旧市街は、幅1kmに満たない。ケーニヒ・ストゥールの急な山腹には、深い緑の木立の間に、ルネサンス風の城が、半ばくずれながら、つたやつる草にからまれて立っているが、口径72cm反射鏡その他を備える天文台は、山頂の平坦部にあって、街からは見えない。

大学は1386年、選帝侯リユプレヒト一世によって創建され、ドイツ現存の大学のなかでは、最も古い。その後、うちつづく戦乱で衰えたのを、19世紀初頭、パーデン大公カール・フリードリヒが復興に努め、幾多の優れた学者を教授に迎えた。物理学者としては、ブンゼン、キルヒホフ、ヘルムホルツ等があり、大天文学者マクス・ウオルフは、この地に生れ、ケーニヒ・ストゥールの台長として終った。このようにして、ハイデルベルクは、ドイツの代表的な大学都市となり、遂にマイアフェルスターの「アルト・ハイデルベルク」が産れたのであった。現在は神・法・医・哲・理の5学部があり、学生数は約1万3千、ハイデルベルクの総人口13万の1割に及ぶ。そのうち、外国人の学生が約2千人で、アメリカ人を別として、ガーナ、ナイジェリア等、アフリカ人の学生が多いのが目立っている。

旧市街の中央部、市役所や、15世紀に建てられた聖霊寺等と相接して、大学の旧館と新館とがあり、これが大学の中心となっているが、各教室・研究所は、市内の至るところに散在し、一般の住宅と区別がつかないのも多く、標札を見て、初めて気付くことが、よくあった。

学期は、夏・冬の二つにわかれ、夏はイースターから7月まで、冬は11月から2月までで、学期と学期の間は、学生は本を読んで勉強するので大変だ、ということ

であった。講義課目の例として、昨冬の学期の天文ではフリッケ：恒星系の構造(2)、エルセッサー：太陽および惑星間物質の物理(2)、フォクト：恒星内部構造と進化(1)、ボルマン：人工衛星の軌道(1)、ゴンドーラッチュ：星団(1)、ラプス：恒星のスペクトルとその解釈(1)、ボルマン：天文学演習(4)、フリッケ、エルセッサー等：電波天文学演習(2)(物理学科と共同)、コロキウム(2)で、かっこの中の数字は、毎週の時間数である。ここにフリッケ教授は天文計算研究所長、ゴンドーラッチュ教授は、その主任研究員、フォクト・ラッセルの定理で名高いフォクト名与教授は、ケーニヒ・ストゥールの前会長、エルセッサー教授がその現会長、ボルマン教授とラプス講師は台員である。天文の講義専用の室はなく、物理や地質の教室を使い、コロキウムは天文計算研究所のセミナー室で開かれる。学生の数は、物理・数学と混って、はっきりわからなかったが、一つの講義に出席するのは、5~15人であった。

現在、西ドイツで、天文学の全課程の講義が行なわれている大学は、ボン、ゲッティングゲン、ハンブルク、ハイデルベルク、キール、ミュンヘン、ミュンスター、チュービンゲンであって、このほかに、フライブルク、ハノーファー、フランクフルト、ヴュルツブルクでは、特殊な学科について講義がある。講義の課目だけでなく、天文学の研究そのものについても、傾向としては、天体物理学が盛んであり、各天文台の台長も、ほとんどが天体物理学者である。これに対して、ガウス、ベッセル等、多くの輝かしい歴史をもつ天体力学、位置天文学の研究を行なっている天文台は、現在はきわめて少なく、測地天文学に至っては、ある天文学者の言葉を借りれば、「睡って」いる。

しかし、その天体物理学の研究も、観測面では、二つの大きな悩みを抱えている。その一つは、大口径の望遠鏡、ことにそれも光電測光、分光測光等の新しい装置を備えたものが少ないこと、第二は、気象状況に恵まれていないことである。たとえば、西ドイツ最大であるハン

* 海上保安庁水路部