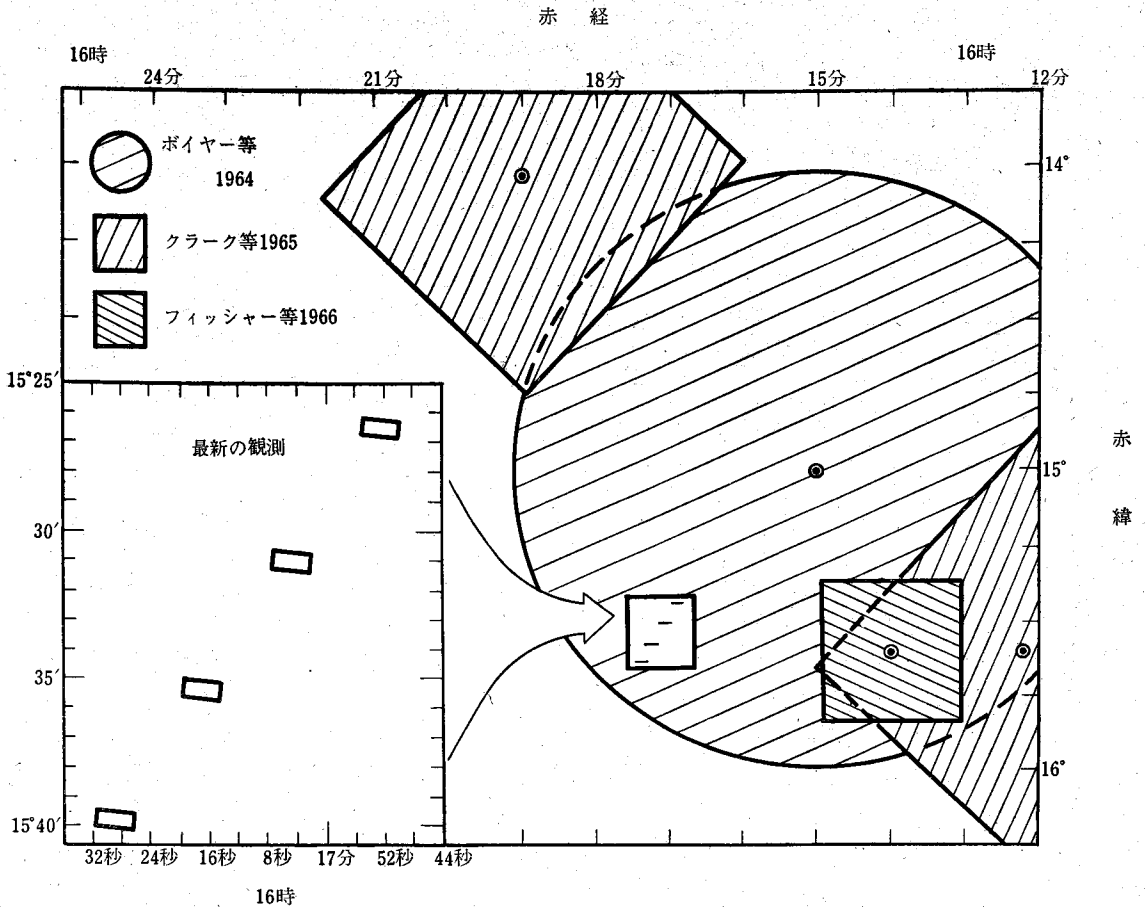


さそり座 X 線源の光学的同定

大 沢 清 輝*



第 1 図 ロケット観測によって決定したさそり座 X 線源の位置とその精度、左側の拡大図にある 4 個の小矩形のうち、中央の 2 個が最も確実度の高い位置 (本文第 8 節の (1) と (2)) を示す。

1. 最近数年間に X 線天文学という新しい分野が展
けてきたことは、例えば本誌 1 月号の松岡氏の解説によ
っても明らかである。X 線という全く新しい研究手段
によって、我々は宇宙に関する新しい知識を得ようと
しているのである。

X 線を発する天体のうちで、その正体が確実にわか
っていたものは、太陽以外では、カニ星雲、白鳥座の A
(電波源としての名称)、及び M87 だけであった。これ
らは超新星の残骸又は特異な銀河系外星雲である。

これ以外の X 線源は、可視光線でどのように見える天
体であるか全くわかっていなかったのである。X 線源の
光学的同定がなぜ難かしかったのかというと、X 線によ

る位置の精密な決定が非常に難かしかったからである。
電波で見えられた QSS が、位置が角度の数秒の精度で
測定されたために比較的容易に光学的に同定されたこと
と比べてきわめて対照的である。さそり座の X 線源の位
置の精度については、第 1 図がその事情を示している。
1964 年には直径 2° ほどの不確かさがあり、大望遠鏡を
駆使して徹底的な光学的掃索をやる基礎としては十分な
精度でなかった。1965 年には不確かさが 30' 程度に縮
まり、(第 1 図の右側の正方形)、H. M. Johnson が Kitt
Peak の 84 インチを用いて赤と青の 2 色で写真をとって
X 線源の探索を行なったが、それらしいものを発見でき
なかった (Ap. J., 144, 635, 1966)。このときの探索で
は X 線源の大きさ (見かけの角度) がまだよくわかって
いなかったため、探索の重点を星雲状のものに置いたの

* 東京天文台
K. Ōsawa: Optical Identification of Sco X-1.

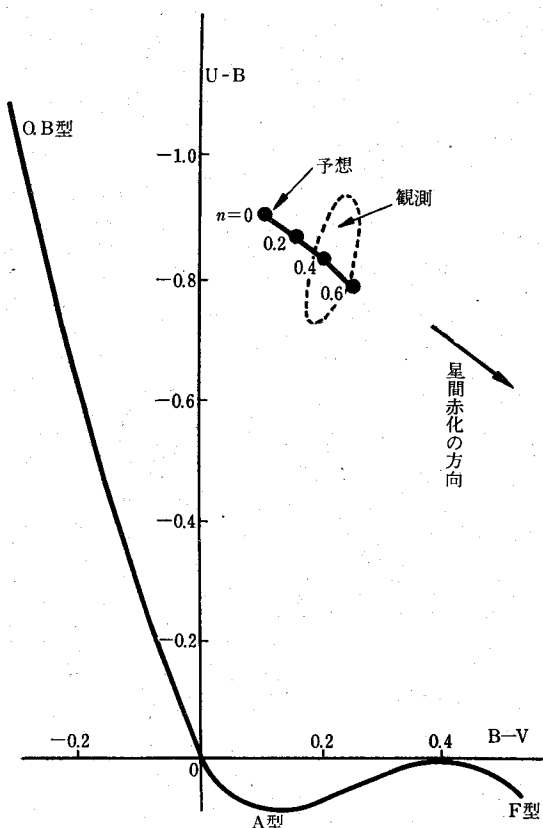
であったが、恒星状の像でも非常に青い色を持ったものは探したにちがいない。結果として X 線源らしい光学的天体を発見できなかったのは、今から言えば当然である。X 線源の位置がよくなかったからであり、換言すれば、もう少し探索の範囲を広げていれば（これは 84 インチを使用する時間を数倍に増加することに相当するので事実上困難であったろうが）、かならず今回の岡山で得た結果と同じ結果に到達したはずである。H. M. Johnson は、結果的には気の毒な役割を演じたことになるが、これは自然科学の発達途上に必然的に置かれる一見無駄に見える捨石の一つであったと解釈すべきであろう。今回の岡山での同定が成功であったとすれば、それは X 線源の位置が精密になったその賜物であることは言うまでもない。

2. さそり座の X 線源 (Sco X-1) が光学的探索の第 1 号になるのは、それが X 線的にいて全天で最も明るいからである。波長 2\AA から 8\AA までの観測値から推論すれば、その可視光線での実視等級は少くも 13 等以上の明るさを持っているはずである。X 線領域での明るさから実視等級を推論するには、X 線を発生する機構についての理論が必要である。理論については今はまだ決定的な段階ではないが、およそ光の振動数 ν の $-n$ 乗に比例する（つまり波長の n 乗に比例する）と考えられる。指数 n は 0 ないし 0.5 程度の小さい数であるが、X 線と可視光線とは振動数（又は波長）にして 1,000 倍ほどのちがいががあるので、 n をどう仮定するかによってその天体から期待される明るさや色指数がかなりちがってくる。次の表はそのおよその様子を示す。

指数 n	実視等級 (V)	色指数 (B-V)	紫外線色指数 (U-B)
0.0	<13.1	0.10	-0.90
0.2	<11.6	0.15	-0.86
0.4	<10.1	0.20	-0.82

つまり、もしも X 線源が可視光線を出しているとするれば、色が赤いほど明るいはずだということになる。しかしその明るさにも限度がある、というわけは、 n を 1.0 以上に大きく仮定すれば、いわゆる電波星として観測されるはずなのに、電波星としては観測されていないという事実があるからである。この他に、光の星間吸収の問題があって、実際にはこの表の値よりも暗く、且つ赤く見えるはずである。

もう一つの問題は、X 線源が見かけ上非常に小さくて恒星状であるか、又は見かけ上大きい星雲状のものであるかという問題であった。もし、上の表のような暗い光が星雲状の大きな面積（見かけの立体角）に分布していたのでは、地球大気の大気夜光に隠されてしまっても検出できないと考えられた。しかしこの点は、小田稔氏を



第 2 図 2 色図表における X 線源予想値 ($n=0, .2, .4, .6$) 及び Sandage による観測値 (破線で囲んだ部分)

含む M. I. T. 及び A. S. E. のグループによる今年の 3 月の観測によって、X 線源の見かけの大きさは角度の 20 秒以下、つまり星雲状ではなくて恒星状であろうということが確かめられたのである。

3. このような背景の下で、岡山の 188 cm 反射望遠鏡による探索が行なわれた。これを行なった今年の 6 月には、さそり座 X 線源の詳しい位置の最終的な計算（第 1 図の左側）は終わっていなかったため、念のためかなり広い空の範囲の写真を撮った。岡山で天気がわるくて観測が出来ない場合の用心として、堂平の 91 cm 望遠鏡でも西村、成相両君に待機してもらった。

上掲の色指数の表でわかるように、この種の天体の光は非常に紫外線が強い。普通の恒星ならば B-V の +0.1 ないし +0.2 に対応して、U-B は +0.1 ないし +0.2 ぐらいが通常なのに、X 線源の U-B としては -0.9 ないし -0.8 が期待される。この特徴を利用して、188 cm 反射望遠鏡のニュートン焦点で、紫外線フィルターをかけての撮影と紫外線を遮断するフィルターをかけての撮影とを、同一乾板上で 1 mm だけずらせ行てなった。つまり、光電測光システムの U 等級と B

等級とを並べて撮影して、Uの方がBよりも明るいような星の像を迅速に見つけようという計画なのである。

こういう方法は、フィルターの種類こそ違え、Hudson, Zwicky, Feige, Haro 等の人が「青色の微光星」を探索するときに既に用いているが、さそり座の X-1 のあたりは、これらの探索の対象にはなっていないのである。なお、UとBとを別々の乾板に撮影して、プリンク・コンパレーターで探索する方法もあるが、結果を早く知る目的では今回の岡山における two-color-image の方法の方がずっと便利である。

この仕事をはじめから1週間たった6月17日の夜、梅雨空のわずかの晴れ間を捕えて撮影した乾板を、水洗いしながら眺めただけで、一つの紫外線の強い星像が見つかった。本誌の表紙の写真がそれである。その夜幸いにもう一度晴れたので、91 cm 反射望遠鏡をすばやく操作して、その星の光電測光の観測をした。この時の晴れ間はたった30分ほどしか続かず、しかも晴れたとはいえ完全な測光のできるような立派な晴れっぷりではなかった。その精度はよくなかった。しかし、

$$V=12.6, B-V=+0.3, U-B=-0.8$$

の程度であることを確かめることができた。つまり、この光電測光によってX線源の候補者となる資格の第一関門をパスしたものと認めたのである。

4. 我々は次の晩にはスペクトルをとることを計画した。なぜ光電測光だけで満足しないのかというと、スペクトルをとらなければその星の本質がわからないからである。同じような色指数を持つ天体は他にもある。星間赤化を受けたO型、B型星かもしれないし、白色矮星かもしれない。これをスペクトルによって判断しなければならないのである。

前夜のニュートン焦点を昼間のうちにカセグレンに変え、水晶の分光器を装着して我々は待期した。梅雨期としては幸運なことに、その晩も晴れ間があり、時々去来する雲に妨げられながらも、どうにか $120\text{\AA}/\text{mm}$ のスペクトルをとった。91 cm でも前夜よりも良い測光の値を得ようとして待期したが、測光のできる空ではなかった。ただ光電露出計の役目をして188 cm 望遠鏡での観測者に刻々の明るさの情報を提供することはできた。

スペクトルを現像してみると、少し露出不足ではあったが、非常に特殊なスペクトルであることが直ちにわかった。吸収線の全然見えない連続スペクトルに、水素のバルマー系列の輝線と電離ヘリウムの4686線の輝線とが乗っているだけである。O型B型の星、又はその変種であるウォルフ・レイエ星やBe型星でないことは明らかであり、白色矮星でないことも明らかになった。この星がX線源の候補者である資格はこれで一段と強まったのである。

5. 話が多少前後するけれども、さそり座のX線源を光学的に同定する今回の仕事は、その企画、X線の大気外観測による位置及び大きさの決定の情報経路、などの関係上、多くの研究機関に属する多数の研究者の共同研究として行なわれたことを明記しておきたい。すなわち、X線天文学の関係ではGiacconi氏をはじめとするA.S.E. (American Science and Engineering) のグループ、及びM.I.T.のグループ、及び東大宇宙研の小田稔氏である。光学的天文学の関係では、Mt. Wilson and Palomar 天文台のSandageたち、及び東京天文台のグループ(寿岳、石田五郎、清水実、市村等の諸君と私)である。この複雑な共同研究の coordinator はアメリカ側ではGiacconi氏、日本側では小田稔氏がつとめて下さった。共同研究の建て前から、我々は早速、電報を以て岡山での結果をアメリカへ通報した。それはスペクトルをとった翌日、つまり6月19日のことであった。なお、私たちの岡山での観測と、後述のパロマーにおけるSandage氏等の観測の結果は、近刊のAp. J. に正式な学術的報告として発表されるはずである。

6. 岡山におけるこの星の観測を、私たちはその後も続行した。12.6等級という暗い星のスペクトルや光電測光を梅雨期にやるのは大体が無理な話で、何度も中途半端な露出不足の観測をしたあとで、6月25日にはかなり良質のスペクトルをとることができた。光電測光も6月から7月にかけて、数回やることができた。このへんは市村氏の努力に負うところが大きい。

一方、石田五郎氏と寿岳氏とは、ダメ押しの目的で、さらに徹底的に附近一帯の紫外線の強い星を探したが、15等よりも明るくてU-Bが負数である天体は他には見つからなかった。ただ、HD147591という9等星は、位置こそ少し北東に離れているがU-Bが0に近いという意味で第2の候補者たり得るかと思われた。しかし光電測光とスペクトル観測との結果は、やや金属含有量の少ないF8型程度の恒星にすぎないことがわかったのでX線源の候補者にはならなかった。

7. アメリカで6月7月といえは、一年中で最も天気の良い季節である。しかも200インチがあるので、岡山での観測結果の通報を受けた後のアメリカ側の活躍はすばらしいものであった。Sandage氏とその助手Osmer氏*とは200吋と20吋との同時観測で、スペクトルと光電測光とを長時間にわたって観測して、その時間的変化をしらべたところ、この星は明るさも色指数もスペクトルも非常に目まぐるしく変化していることがわかった。青色等級(B)でいえば、今までで最も明るかったのは12.5等、最も暗かった時は13.5等である。12分間に

* このOsmer氏は、昨年の夏、日本を訪れている。(天文月報今年1月号参照)

0.08 等も変わったこともあるという。色指数は B-V が 0.19 ないし 0.24, U-B は -0.73 ないし -0.89 の間を変化していることがわかった(第2図参照)。スペクトルの様子は、大体は岡山で我々が観測したのと同じであるが、水素と電離ヘリウムとの輝線の強さ(連続光に対しての)が時によってかなり変化しており、輝線そのものの強さはほとんど一定で連続スペクトルの強さが時によってちがうと解釈されている。梅雨空の下の 74 吋ではとてもやれないことを、晴天に恵まれた 200 吋が立派にやってくれたのである。

8. 8月になってから、我々はX線源の位置に関する最も精密な最新の情報を受けた。これは上述の A.S.E. 及び M.I.T. の人たち(小田稔氏を含めて)が今年の3月にロケット観測によって得たデータの数値解析の結果であって、次の二つの解:

赤経(1950年) 赤緯(1950年)

(1) $16^{\text{h}}17^{\text{m}}5^{\text{s}}0 \pm 4^{\text{s}}$ $-15^{\circ}30'54'' \pm 30''$

(2) $16^{\text{h}}17^{\text{m}}17.2 \pm 4$ $-15^{\circ}30'20'' \pm 30''$

があるという結果である。(第1図の左下参照)

一方、我々と Sandage 氏等とが観測した“青い星”の位置は、1950年に換算すれば、

$16^{\text{h}}17^{\text{m}}4^{\text{s}}.3$ $-15^{\circ}31'13''$

であるから、X線源の(1)の位置とは完全に一致したことになる。この“位置の一致”こそが、X線源の光学的同定のための最も重要な関門だったのである。

9. 今回の光学的同定が正しいものと仮定して話を進めれば、その物理的実体をどう解釈すべきであろうか。これについては、他に適当な執筆者が居られると思うので、拙稿では詳しくは述べないけれども、温度 $10^7 \sim 10^8$ 程度度の、光学的に厚くないプラズマの発する電磁波であるという考えに従来よりも強い根拠を与えたことになる。中性子星などの発する黒体輻射の仮説は、X線領域のスペクトルからいっても、光学スペクトルからいっても適当ではない。

光学領域のスペクトルは、減光した後の新星のそれに似ている。又は新星として記録されたことはなくてもそれと類似のスペクトルを持っているために、nova-like の星と呼ばれている星のスペクトルも同様である。吸収線を持たないスペクトルという点でいえば、惑星状星雲の中心星にもやや類似のものがある。

新星(又はそれに類似の天体)とX線源とを結びつける理由は他にもある。それはX線源の銀緯の分布が新星のそれによく似ている事実である。ただし、両者の一対一の対応は、今のところ全く不明である。

電波源 Sco X-1 が新星類似の天体であるとすれば、それが近接連星である可能性も考えられる。多くの新星又は新星類似の天体が近接連星であるという事実がある。

からである。X線を発する 10^7 度という高温度のプラズマをむき出しにして保存するためには、よほど特別な物理的機構が必要であるけれども、その一案として近接連星の持っている特別な重力場(又はそれに磁場の助けを加えたもの)を考えることは非常に面白い。

10. 今回の Sco X-1 の光学的同定によって、X線源には少くも3種類の区別があることがわかった。一つは超新星の残骸(カニ星雲)、もう一つは特異銀河系外星雲(M87とCyg A)、そして第3の種類がこの新星類似のスペクトルを持つ恒星状の天体である。見かけの明るさや色指数(第2図)からもわかるように、その星はひどい星間吸収を受けていないようであるから、その距離は近いはずである。たぶん 100~200 パーセク程度であろう。

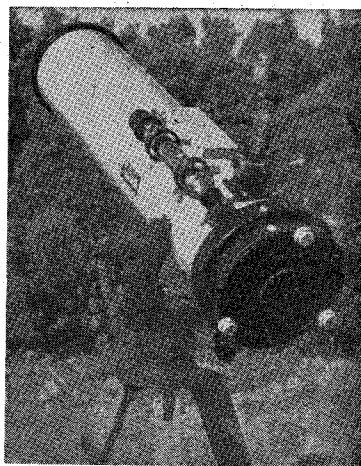
X線天文学がこのようにして次第に光学の天文学と結びつきつつあることは、非常に有意義なことである。

* * *

終りに一言、私個人の感想を述べさせて頂くならば、今回の岡山での観測は、東京天文台が 188 cm 及び 91 cm の望遠鏡を持って以来5年間に、これらの望遠鏡がとばした幾つかのヒットの一つとして少しは自負してよいものだと思う。観測所の諸君のチームワークによるたゆまぬ整備のおかげであることも特筆しておきたい。



カンコー天体反射望遠鏡



二十
糎
C
G
式
焦点
距離
二段
切
換
天
体
反
射
望
遠
鏡

- ★ 天体望遠鏡完成品各種
- ★ 高級自作用部品
- ★ 抛物面鏡, 平面鏡, 軸外し抛物面鏡
- ★ アルミニウム鍍金
- ★ 電源不要観光望遠鏡(カタログ要 30 円切手)

関西光学研究所

京都市東山区山科竹鼻 TEL 京都 06 0057