

理学博士小田稔君の「すだれコリメータの発明とX線

天文学への寄与」に対する授賞審査要旨

(一) X線天文学の発端

一九六二年 MIT の Rossi と ASE (American Science & Engineering Inc.) の Giacomini たちは方向性を持ったX線が地球大気に入射していることをロケット観測によって発見した。彼らは一九六三年にかけて観測をつづけ、線源が恒星座標と共に回転していること、また線源の一つが「さそり座」のあたりにあることを確かめた。これがX線天文学の発端である。ところで問題は、その線源の性格である。それが宇宙空間で拡がりを持つものか、点源であるか、そして既知の星または星雲に対応するものか、といった問題である。それらのことを決定するには、何よりも先ず、高い角分解能を持つコリメータを用いて線源の大きさと位置を決定しなければならない。

(二) 初期に用いられたコリメータ

光天文学ではこの目的のため光学望遠鏡が用いられる。しかしX線に対してレンズは役に立たないから屈折望遠鏡はだめであるし、長波長のX線に対しては反射望遠鏡の使用が可能だが、そこには波長について大きな制約がある。この場合直ちに考えられるのはSlits(うす板)を用いる方法である。すなわち何枚かのうすい板を平行にかつ等間隔にならべ、そのすき間を通して対象を見る。このとき角分解能は、うす板の間隔をせばめるか、あるいは長い板を用いるか

によって高めることができる。

しかし「うす板コリメータ」には次のような困難がつきまとう。まず高分解能を得ようとして板の間隔をせばめれば、板に少しの湾曲も許せなくなり、工作上大きな困難に遭遇する。また板を長くするやり方のほうは、場所をとりすぎ、また重くなりすぎることにもなる。何れにせよロケットや衛星に搭載するにはぐあいが悪い。さらにうす板方式は分解能を高めると視野が狭くなり、対象を視野に入れておくのに困難な操作が必要である。またこの狭い視野では、天空を走査するとき、対象を見る時間が短く、その結果、暗い対象を捉えることはできない。Rossi たちが天体X線を発見したとき、最初分解能九〇度といった性能の悪いものを用い、その後も精密な観測ができなかったのはこの様な事情による。

(三) 「うすだれコリメータ」の発明

Rossi たちの発見した天体X線の線源は星またはひろく拡った星雲に対応するものであろうか、という問に答えるにあたって、望遠鏡でつかまる天体とX線源とを同定するために必要な条件として光天文学者から要請された点が二つあった。すなわち(i)満天の星のなかから目的の天体を見出すためには、その位置があらかじめ数分角以内の領域にしばられていなければならず、(ii)線源の拡がりあまりに大きいと、それがよほど明るいものでない限り、望遠鏡で識別困難であり、従って線源の拡がり数分角以内ということがあらかじめ知れていなければならない。

ところで、これらの要求に應えるには、角分解能数分以内のコリメータが必要である。しかしこのような分解能を持ち、十分に明るく、しかもロケットや衛星に搭載可能なものをうす板方式で作ることはとても無理であった。そこ

に登場したのが ODA の「すだれコリメータ」であった。

この新しいコリメータの構造や機能についてはすぐ後にのべるが、彼はその着想に基づき MII のグループと共に角分解能 α のほどで、ロケット搭載可能、しかも十分明るいコリメータを製作し、一九六四年にそれを用いて「さそり座」の X 線源が角度 θ より小さい天体であることを確認できた。この発見により線源は一つの星であることがわかり、それに対して SCO X-1 なる名称が与えられた。

ここで Oda の発明したコリメータの構造と機能について略述する。一口に言えば、うす板方式が縦にならべた板のすき間から対象を覗くのに対し、ODA 方式では、針金を骨とする目幅一定の「すだれ」を作り、その何枚かを、特殊の距離比で、平行な棚ぐみの形にならべ、それを透かして対象を見る。このとき透かして見える方向は、うす板方式の場合と異って、ま正面だけでなく、ある最小角の整数倍だけ斜めの方向も可能である。その結果、広い視野が得られるほか、従来にない特徴があらわれる。すなわち、このコリメータを用いて天球を走査すると、一個の点線源に対するレスポンスが周期的に明暗をくりかえす。英語で Oda のコリメータを「Modulation Collimator」とよぶのはこの特性に由来する。もし線源が点でなく拡がりを持つなら、この明暗は重なり合ってモジュレーションは消えてしまふ。従って明暗の有無によって線源の大きさを推定することができる。SCO X-1 の大きさが θ 以下だという結論はこうして導かれた。さらにこのレスポンスのくりかえしによって、走査の際のエネルギー受容量は従来のコリメータにくらべて格段に大きくなる。

このすだれ方式においてはただか数枚のすだれを用いるので、従来の方式にくらべて非常に軽いものが可能であ

る。また高い分解能を得るためには非常に細かい目のすだれを必要とするが、それを作るのに工作上的困難はほとんどない。事実 Oda たちは大きき 0.2mm の針金を用い、目幅 0.2mm のすだれを困難なしに製作した。

その後のすだれ方式は次々と改良され、一九六六年には分解能 $10''$ という驚異的性能のものが作られ、その結果 SCO X-1 の拡がりは一〇²より小さいことが確認された。それと同時に、レスポンスが明暗をくりかえす特性を利用して、明暗周期の少し異なる二個のコリメータを並用する「ヴァーニア法」が開発され、それを用いて線源の位置を天球上の α, δ 角の領域にしぼることができた。かくて、前にのべた条件 (i) と (ii) とが共に満たされ、ここに望遠鏡で観測される星と SCO X-1 とを同定する可能性がはじめて出てきた。

(四) SCO X-1 の同定

Oda を含む MIT グループは SCO X-1 の大きさと位置に対する重要な知見を得たのみならず、その線源から出る X 線のスペクトル分布を測定し、それを可視部まで外挿して、その線源は一二〜一三等星の明るさを持つ青い色の星であろうと予想した。東京天文台の Osawa と Jugaku たちは直ちに岡山天体物理研究所の七四インチ望遠鏡を用いて Oda たちがしぼった天球領域の探索を行い、そこに予想通りの青色星を見出した。この発見はさらに、ロマ天文台の Sandage によって追認され、ここに X 線天文学は光天文学と結ばれ、新しい探求の時代が開かれた。それは一九六六年のことであった。

(五) 「かに星雲」の X 線源

X 線源は「かに星雲」にも存在する。このことは既に一九六三年 NRL (Naval Research Laboratory) の Fried-

man)によって発見されており、また彼は月のえんぺいによってそれが拡がりを持つことを結論していた(「すだれ」発明以前のこととて、月がコリメータとして用いられた)。そこで Oda は MIT グループは一九六七年に「すだれ」を用いて直接この線源を観測し、「かに」の中心部のさしわたし約一光年の範囲にひろがった X 線源を確認することができた。現在さらに大型の「すだれ」を用いる観測が Oda たち日米の科学者の共同によって企てられている。

④ CYG X-1 の研究

以上のべた研究のほかに Oda は一九六八～七〇年にかけて Nishimura は宇宙航空研究所の気球グループの協力を得て数次にわたる気球観測を行い、「すだれ」を用いて CYG X-1(「白鳥座」にある X 線星)の位置を決定した。一方 MIT グループも、X 線星探索用の衛星 Uhuru に搭載した「すだれ」によって多くの X 線星を発見し、上述の気球グループと相前後して、CYG X-1 の位置を決定した。こうして宇宙研と MIT とは成果を競う形になったが、両者の結論はよく一致している。その後この場所に電波源と青い超巨星 HD152268 が発見されたが、一九七一年、グリニチ天文台、トロント天文台で、X 線源はこの超巨星自体ではなく、それと近接連星を形成している未知の星であることが結論された。また東京天文台ではこの超巨星がガスを噴出して X 線星にふきつけているらしいことを観測した。

このように CYG X-1 の同定が行われた結果、光天文学者たちは、この連星の回転運動によるドップラー効果から回転のパラメータを決定し、その数値からみて X 線源は重い高密度星だと推定した。さらに一九七一年に Oda は MIT グループは、この CYG X-1 の X 線が他の X 線星の場合と異質の時間変動を示すことに気がついた。そして Oda

を含む宇宙研グループは、理化学研究所の Wada の協力を得て、変動の解析法を改良し、一九七四年には、持続時間 1/1000 秒程度という極めて速い時間変動の存在を結論した。秒程度の周期で変動する電波源パルサーは高密度の中性子星であったが、この CYG X-1 は、その異常な重さからみて、また時間変動の特異性からみて、いわゆるブラック・ホールではないかと考えられているが、その確認は将来に残されている。

(4) 太陽 X 線について

「すだれコリメータ」は太陽起源の X 線に関しても重要な役をするであろう。太陽面の爆発にともなって X 線が射出されるが、それには持続時間長く軟 X 線を出すものと、持続時間短く硬 X 線を出すものがある。そのうち後者は粒子加速を含む非熱的現象であり、相対論的プラズマの研究にとって重要な現象だと考えられ、従ってその空間構造を知ることの必要性は早くから指摘されていた。そして、この問題に関連して持つ「すだれコリメータ」への期待も大きい。一九六九年東京天文台の Takakura、宇宙研の Nishimura、Miyamoto たちは「すだれ」を用いて太陽フレアの観測を Oda と共に行い、硬 X 線の源は太陽黒点の非常に狭い範囲に集中していることを確かめた。

しかしこの問題はまた序の口である。というのは、この観測は現在世界ただ一つのものであり、しかもこのときの爆発を最後に太陽は静穏期に入ってしまったからである。(次の太陽活動期は一九七八年以降になると予想されているが、それをねらって日米共同の太陽 X 線観測が計画されている)。Takakura らの観測で気球飛揚中にうまく太陽面爆発が起ったのは実に千載一遇の幸運であった。

(5) その他

その他「すだれコリメータ」は一九七四年暮に軌道にのった英国の衛星にも搭載されている。また一九七五年中に打上げられる予定の米国の衛星 SASIC、さらに二年以内に予定される米国の大型衛星、および一九七〇年代の終りに予定される日本の衛星も「すだれコリメータ」を載せることになっている。

(4) 結論

以上小田稔君の発明になる「すだれコリメータ」のすぐれた性能と、それを用いて得られたX線天文学上の注目すべき発見のうち、小田君が直接関与した主なものをのべた。(一)にのべたようにX線天文学が生まれたのは一九六二年であったが、以上のべたように、小田君による優れたコリメータの発明を抜きにしてその発展を語ることはできない。彼の論文リストを見てもわかるように、一九六四年から現在にかけて Oda の名がつけられている論文は実に四〇編に近い。これらの研究は何れも多くの共同研究者による共同作業であり、それらはすべて、実験家と理論家、天文学者と物理学者、さらに、ロケット、衛星、気球飛揚などの専門家の加わった大規模かつ国際的な共同研究である。従って以上のべたX線天文学上のもろもろの発見も、もちろん小田君一人のものとすることはできないであろう。しかし、これら壮大な仕事で小田君は常に主役の一人であり、小田君の独創的発明である「すだれコリメータ」なしにそれらの成果は生まれ得なかったであろうことを思うにつけ、X線天文学に対する彼の寄与は決定的であると
言わねばなるまい。

一、主要な著書・論文目録

1. M. Oda: The Neutron-star Hypothesis of Celestial X-ray Sources. *Nature* 202, 1321 (1964).

2. M. Oda: High-resolution X-ray Collimator with Broad Field of View for Astronomical Use. *Applied Optics* **4**, 143 (1965).
3. M. Oda, G. Clark, G. Garmire and M. Waters: Angular Sizes of the X-ray Sources in Scorpio and Sagittarius. *Nature* **205**, 554 (1965).
4. G. Clark, G. Garmire, M. Oda, M. Wada, R. Giacconi, H. Gursky and J. Waters: Positions of Three Cosmic X-ray Sources in Scorpio and Sagittarius. *Nature* **207**, 584 (1965).
5. M. Oda: X-ray and Gamma-ray Astronomy. *Proc. The Ninth International Conference on Cosmic Rays (London)* **98** (1965).
6. H. Gursky, R. Giacconi, P. Gorenstein, J. Waters, M. Oda, H. Bradt, G. Garmire and B. Sreekantan: A Measurement of the Angular Size of the X-ray Source SCO X-1. *Astrophys. J.* **144**, 1249 (1966).
7. H. Gursky, R. Giacconi, P. Gorenstein, J. Waters, M. Oda, H. Bradt, G. Garmire and B. Sreekantan: A Measurement of the Location of the X-ray Source SCO X-1. *Astrophys. J.* **146**, 310 (1966).
8. K. Ichimura, G. Ishida, J. Jugaku, M. Oda, K. Osawa and M. Shimizu: Optical Observations of SCO X-1. *Astron. Soc. Japan* **18**, 469 (1966).
9. A. Sandage, P. Osmer, R. Giacconi, P. Gorenstein, H. Gursky, J. Waters, H. Bradt, G. Garmire, B. Sreekantan, M. Oda, K. Osawa and J. Jugaku: On the Optical Identification of SCO X-1. *Astrophys. J.* **146**, 315 (1966).
10. M. Matsuoka, M. Oda and Y. Ogawara: Possible Models for X-ray Source SCO X-1. *Nature* **212**, 885 (1966).
11. M. Oda, H. Bradt, G. Garmire, G. Spada and B. Sreekantan: The Size and Position of the X-ray Source in the Crab Nebula. *Astrophys. J.* **148**, L5 (1967).

12. H. Bradt, G. Garmire, M. Oda, G. Spada, B. Sreekantan, P. Gorenstein and H. Gursky: The Modulation Collimator in X-ray Astronomy. *Space Science Reviews* 8, 471 (1968).
13. M. Oda: Optical Identification and Interpretation of X-ray Sources. *Space Science Reviews* 8, 507 (1968).
14. M. Matsuoka, M. Oda, Y. Ogawara, S. Hayakawa and T. Kato: Observations of the Background Component of Cosmic X-rays. *Nature* 222, 784 (1969).
15. K. Kitamura, M. Matsuoka, S. Miyamoto, M. Nakagawa, M. Oda, Y. Ogawara and K. Takagishi: Observation of a New X-ray Source. *Nature* 224, 784 (1969).
16. M. Oda: Rocket Instrumentation for X-ray and Gamma-ray Astronomy. *Small Rocket Instrumentation Techniques* (North-Holland Publ.) 211 (1969).
17. M. Wada, T. Kato, M. Matsuoka, M. Oda and Y. Ogawara: Aspect Determination of Freely Spinning Rockets. *Small Rocket Instrumentation Techniques* (North-Holland Publ.) 176, (1969).
18. M. Matsuoka, M. Oda, Y. Ogawara, S. Hayakawa and T. Kato: Measurement of the Absolute Intensity of Cosmic X-rays. *Astrophysics and Space Science* 4, 44 (1969).
19. M. Oda: Observational Results on Diffuse Cosmic X-rays. *Non-Solar X- and Gamma-ray Astronomy*, ed. I. Grattan (D. Reidel Publ.) 260 (1969).
20. M. Matsuoka, S. Miyamoto, J. Nishimura, M. Oda, Y. Ogawara and M. Wada: Angular Size and Position of the X-ray Source CYG X-1. *Non-solar X- and Gamma-ray Astronomy*, ed. I. Grattan (D. Reidel Publ.) 130 (1969).
21. T. Kitamura, M. Nakagawa, K. Takagishi, M. Matsuoka, S. Miyamoto, M. Oda and Y. Ogawara: Energy Spectrum of a Nova-like X-ray Source. *Nature* 229, 31 (1971).
22. M. Oda, P. Gorenstein, H. Gursky, E. Kellogg, E. Schreier, H. Tananbaum and R. Giacconi: X-ray

- Pulsations from Cygnus X-1 Observed from UHURU. *Astrophys. J.* 166, L1 (1971).
23. T. Takakura, K. Ohki, N. Shibuya, M. Fujii, M. Matsuoka, S. Miyamoto, J. Nishimura, M. Oda, Y. Ogawara and S. Ota: The Location and Size of a Solar Hard X-ray Burst on September 27, 1969. *Solar Physics* 16, 454 (1971).
 24. T. Kitamura, M. Matsuoka, S. Miyamoto, M. Nakagawa, M. Oda, Y. Ogawara and K. Takagishi: Observation of SCO X-1. *Space Research XI*, 1367 (1971).
 25. M. Oda and M. Matsuoka: Cosmic X-rays. *Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics*, Vol. X (North-Holland Publ.) 378.
 26. S. Miyamoto, M. Matsuoka, J. Nishimura, M. Oda, Y. Ogawara, S. Ota and M. Wada: Measurement of the Location of the X-ray Source CYG X-1. *Astrophys. J.* 168, L11 (1971).
 27. S. Hayakawa, T. Kato, F. Makino, H. Ogawa, Y. Tanaka, K. Yamashita, M. Matsuoka, S. Miyamoto, M. Oda and Y. Ogawara: Observation of Cosmic Soft X-rays. *Astrophys. and Space Science* 12, 104 (1971).
 28. M. Oda: Progress in the Observational X-ray Astronomy. *New Techniques in Space Astronomy*, ed. Labuhn and Lüst, IAU 89 (1971).
 29. T. Kitamura, M. Matsuoka, S. Miyamoto, M. Nakagawa, M. Oda, Y. Ogawara, K. Takagishi, U.R. Rao, E.V. Chinnis, U.B. Jayanthi, A.S. Prakasa-Rao and S.M. Shandari: Time Variation of the X-ray Spectrum and Optical Luminosity of SCO X-1. *Astrophys. and Space Science* 12, 378 (1971).
 30. M. Fujii, M. Matsuoka, S. Miyamoto, J. Nishimura, M. Oda, Y. Ogawara and S. Ota: A Balloon-born X-ray Telescope. *New Techniques in Space Astronomy*, ed. Labuhn and Lüst, IAU 184 (1971).
 31. M. Oda, M. Wada, M. Matsuoka, S. Miyamoto, N. Muranaka and Y. Ogawara: Dynamic Spectrum

- Analysis of Cygnus X-1. *Astrophys. J.* **172**, L113 (1972).
32. M. Matsuoka, M. Fujii, S. Miyamoto, J. Nishimura, M. Oda, Y. Ogawara, S. Ota, S. Hayakawa, I. Kasahara, F. Mikino, Y. Tanaka, P.C. Agrawal, B. Sreekantan, Y. Hatanaka and S. Sreedhar Rao: Simultaneous Hard X-ray and Optical Observation of SCO X-1. *Nature* **236**, 53 (1972).
 33. M. Matsuoka, M. Fujii, S. Miyamoto, J. Nishimura, M. Oda, Y. Ogawara, S. Hayakawa, I. Kasahara, F. Mikino, Y. Tanaka, P.C. Agrawal and B. Sreekantan: Time Variation of Hard X-rays from SCO X-1. *Astrophys. and Space Science* **18**, 472 (1972).
 34. S. Miyamoto, Y. Ogawara, M. Matsuoka and M. Oda: Wide Band Energy Spectrum of SCO X-1. *Space Research XIII*, 851 (1973).
 35. S. Miyamoto and M. Oda: Implication of Polarized X-rays from the Crab Nebula. *Proc. the Tenth I.S. T.S.* 1191 (Tokyo 1973).
 36. M. Oda, K. Takagishi, M. Matsuoka, S. Miyamoto and Y. Ogawara: Millisecond X-ray Pulses from CYG X-1. *Publ. Astronomical Soc. Japan* **26**, 303 (1974).