連載

恒星天文学の源流【21】

星と銀河　その４

～銀河と暗黒星雲～

小暮智一（京都大学 OB）

銀河に沿って明るい星雲と暗黒星雲が美しい模様を織り成している。今回は暗黒星雲の探査に貢献したエドワード・バーナードとマックス・オルフの２人を取り上げよう。

1.「天空の穴」

1833 年の夏、ジョン・ハーシェルは南アフリカの喜望峰への旅の準備を進めていた。父のウイリャム・ハーシェルが北天で行った星団、星雲の探索を南天に拡張するためである。そのとき、ジョンのもとに叔母のカロラインから手紙が届いた [60]。

「喜望峰に落ち着いたら、さそり座の南部の奇妙な天体に注意してください。あなたの父はその付近に星の見えない領域があるのを不審に思っていました。」

ジョンは南天の観測を始めても、叔母の手紙をあまり気にしていなかった。ようやく翌年の６月に

「さそり座付近に別に変わった天体は見当たりません。球状星団がたくさん見えています。」と返信を書いた。カロラインはそれに満足せず、

「私が期待したのは星団ではありません。あなたの父が「ここには実際に『天空にあけられた穴』があるといっておられた領域です。」

ウイリャム・ハーシェルは 1783 年頃、20 フィート反射鏡で星団、星雲の探査とともに「星計測」を平行させていた。望遠鏡の視野（15 分角）に入る星の総数を数える仕事である。あるとき彼はさそり座のアンターレス付近を西から東へ銀河面に近づくように星計測を行っていた。銀河面に近づくと確かに星の数が増えてくる。ところが突然のように星数が減少し殆んど暗い星の見えない領域に入った。４度角ほど進んでようやく星も増え、銀河面に向かって星数も増大していった。球状星団 M80 や M4 の付近でも顕著であったという。

カロラインはウイリャムが 50 年前に経験したこの「天空の穴」についてよく記憶していた。それでジョンに注意を促したのであった。ジョンもようやくそれに気づき、「天空の穴」についてアフリカ滞在中に約 50 個の星の少ない領域を発見している [61]。そのうちの半数はへびつかい座 ρ 星の近傍にあった。特に M80 付近では明るい星さえ見えなくなり、「夜空は壮大な暗黒さを示した。」とも書いている。

スコットランドの神父トマス・ディック（Thomas Dick）はハーシェルの「天空の穴」に関心を持ち、「恒星界と天文学に結びついた諸現象」（1840）[62] を著しているが、その中でオリオン星雲などの明るい星雲と、周辺の暗い星雲を比較して、明るい星雲は星ぼしが生まれたところではないかと当時としては卓越した推測を行っている。

ハーシェル一家が観測していたのは明らかに暗黒星雲であるが、暗黒星雲の観測が本格化するのは乾式写真乾板が実用化され始めた 1880 年代以降で、ジョン・ハーシェルやトマス・ディックの時代からさらに４０ 年も経っていた。登場するのはエドワード・バーナードとマックス・オルフである。しかし、ハー

シェルの「天の穴」は2人に大きな影響を与え、「天の穴」を「暗黒星雲」と理解するまでに長い道のりが必要であった。なお、バーナードは若き日にディックの著書に出会い、星雲の記述に大きな印象を受けたという [63]。

2. バーナード（Edward Emerson Barnard 1857 - 1923）

2.1　生い立ち

エドワード・エマーソン・バーナード（通称エド）は1857年、12月16日にテネシー州のナッシュビール(Nashville)で生まれた。父リュービン（Reuben）はエドの生まれる2ヶ月前に他界し、母のエリザベス・ジェーン（Elizabeth Jane）は、ワックスフラワーの手作業などで貧しい家計を支え、2人の息子を養っていた。エドが3歳のときに南北戦争が勃発し、ナッシュビールも一時戦場になったこともあった。彼には戦争のこともかすかな記憶にあるという[63], [64]。

母は教養をもった女性で文学や芸術への関心も深かった。貧困との戦いの中でも子供たちの教育や躾に気を配った。エドは少年時代にわずか2ヶ月しか小学校に通うことができず、基礎的な知識はすべて母からの教育によるものであった。9歳で同じ市内の写真スタジオに働きに出る。このスタジオでは屋上に巨大なカメラが設置されてあり、レンズの一つを絶えず太陽に向けておく装置が付いていた。エドの当初の仕事はレンズが太陽に向くように絶えず歯車で調整することであった。単調ではあったが、スタジオでの仕事を通して写真術を学び、また、余暇には天文への興味を深めていた。

このスタジオでエドは17年間働くが、生活にもゆとりが出てきたので、20歳（1876）のとき、思い切って5インチ望遠鏡を購入する。400ドルという価格はサラリー年額の3分の2に達するものであった。彼は庭の一隅に小屋を建て、コメットハウスと称して、この望遠鏡で彗星の探査に乗り出した。

25歳の1月（1881年）、彼は数年前に英国から移り住んで同じスタジオで働くようになったローダ・カルバート（Rhoda Calvert）と結婚する。ローダは献身的に彼に協力し、彼の天文学研究者への道を支えてくれた。この頃、彗星探査を続けていたバーナードはこの年の5月に最初の彗星を発見する。発見はニューヨークの私設ローチェスタ天文台台長スイフトに報告された。この天文台の創始者ウオーナー（H. H. Warner）は彗星を発見したアメリカ人に賞金を贈る慣例を始めていた。彼の彗星はComet 1881 VI と名づけられ、その発見によって200ドルのウオーナー賞金が与えられた。

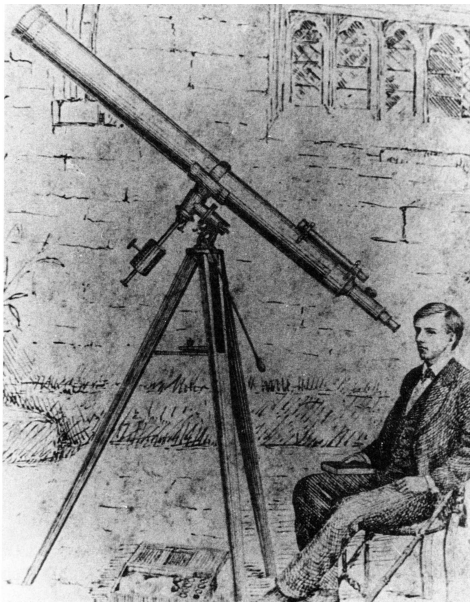


図29　5インチ望遠鏡を前にした若き日のバーナード
この望遠鏡で1881年に最初の彗星を発見した。[63]

その後もコメットの探索に力を入れ、翌年に2つ目のコメットを発見する。こうして数年間に5回もウオーナー賞金を獲得している。

1883年、ナッシュビールのバンダービルト大学（Vanderbilt U.）から、宿舎付年俸300ドルで付属天文台の観測員にならないかとの申し出を受けた。これは写真スタジオでの俸給を下回り、家族を支える上でも危険な選択であった。しかし、妻のローダは彼を励まし、「ぜひ、この仕事を引き受けなさい。生活は何とかなるでしょう。」と薦めた。それでバーナードの決心がついた。幸い、天文台の配慮と援助で特別学生として大学への入学が許され、数学、物理学、化学、いくつかの外国語を学ぶことができた。また、学生身分の傍ら、天文台の実地天文学の教育助手として学生の指導にも当たった。

アメリカ天文学会とのかかわりは1884年にフィラデルフィアで開かれたアメリカ天文学会の年会への出席に始まる。ここで多くの知己を得たが、その折にアレゲニイ、ワシントン、ハーバード、アルバーニなどの天文台を訪ね、将来の大きな基盤を築いた。

1887年、30歳になってようやく学部卒業の資格を得る。その年までにさらに7個もの彗星を発見していた。その頃、カリフォルニアではサンフランシスコ市の東南、ハミルトン山に建設中のリック天文台が完成に近づいていた。台長予定のカリフォルニア大学のホールデン（E. S. Holden）はバーナードに白羽の矢を立て、招聘の手紙を送った。バーナードも喜んでそれを受け入れ、こうしてリック天文台の生活が始まる。

2.2　リック天文台時代

リック天文台にジュニアスタッフとして着任したのは天文台完成の翌年、1888年であった。ここでバーナードに割り当てられた仕事は30cm（12インチ）望遠鏡とコメットシーカーの管理と観測であった。

彼は相変わらず彗星探査を続けていたが、ホールデンが注目したのは彼の優れた写真技術であった。1889年、バーナードは30cm鏡にガイド望遠鏡として取り付けられた16cm鏡（6.5インチ）に広角写真レンズを取り付け、銀河の長時間撮影を始めた。その画像は天文台では誰も見たことのないすばらしい光景であった。星団、星雲や多数の模様が織り成す光景にスタッフの誰もが興奮したという。

バーナードはジュニアスタッフとして、91cm（36インチ）屈折望遠鏡での観測の機会はなかったが、1892年に先輩のバーナムが転出するとようやく定期的な観測ができるようになった。彼がこの望遠鏡の観測で得た最初の成果は木星の第5衛星の発見であった。

しかし、バーナードの本領は写真観測による天体の捜査であったから、その後も相変わらず、彗星探査や太陽系天体の観測を続けていた。主な対象は彗星であった。長時間撮影によって、彗星が眼視観測に比較して長い尾を持つことを示し、1892年にはスイフト彗星の尾の形状変化を追跡して形状の著しい変化を観測している。彼にとって16cm写真儀は観測対象も限られ、心の中には次第に不満が残るようになっていた。

2.3　ヤーキス天文台時代

1890年代に入るとシカゴ大学のジョージ・E. ヘール(源流 [20])による天文台建設の計画が進んでいた。チャールス T. ヤーキス氏の資金に基づいて40インチ（102 cm）屈折望遠鏡を備えた近代的な天文台をシカゴの北方、ウイリャムス湾にのぞむ高台(海抜330メートル)に建設するという構想である。

1895年、建設中のヤーキス天文台から招聘があり、バーナード(39歳）は喜んでそれに応じた。身分はシカゴ大学教授兼ヤーキス天文台先任研究員であるが、大学での義務は学

生に夏期講習を行うくらいでほぼ観測に専念できる職務であった。

しかし、天文台の完成が遅れたため、1 年間をシカゴに在住することになった。それはバーナードにとって幸いであった。リックでの仕事をまとめるのによい時期だったからである。この年、多くの論文をまとめているが、その中に銀河のいくつかの領域の写真撮影がある。その年（1895）のうちに、M11, χ Cyg、15 Mon, ε Cyg などの領域、NGC1499, χ Per 付近などの美しい写真が相次いで アストロフィジカルジャーナル誌を飾った。

翌年、バーナード 40 インチ（102cm）屈折望遠鏡の立ち上げを任務としてヤーキス天文台に移る。立ち上げ作業中に支持ケーブルの欠陥によって昇降台が落下するという事故が発生した。幸い、彼がドームを離れた直後だったので怪我はなく、また、望遠鏡も損傷を免れたが、悪くすれば人身事故につながるところであった。このため、工事が遅れ、1897 年の 10 月にようやく開所式が行われた。

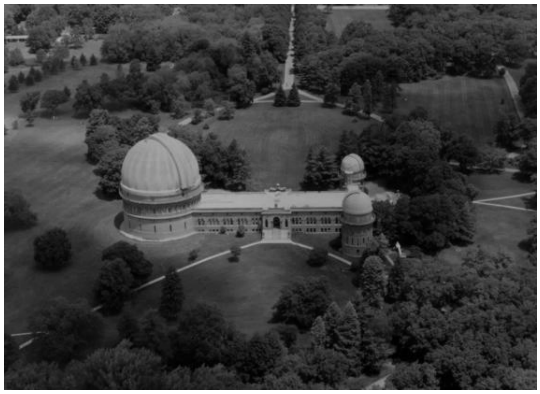


図 30　ヤーキス天文台、南側上空からの航空写真（出典：Atlas Obscura, http://atlasobscura.com/place/yerkes-observatory）

完成した 40 インチ鏡で早速テスト観測が始まり、星団、変光星、惑星などの精密な位置と大きさの測定が行われた。レンズの解像力には問題が無かった。こうしてリックの 36 インチ望遠鏡と並んでアメリカにおける大屈折望遠鏡の時代が開幕したのである。

バーナードは星雲、星団の観測のために広い視野の望遠鏡を必要としていた。幸い、1897 年にニューヨーク在住のキャサリン・ブルース（Miss Catherine W. W. Bruce）から写真儀製作のためにヤーキス天文台に 7000 ドルの寄付があった。これは望遠鏡とドームを製作するのに十分な金額であった。

ここでひとこと、ミス ブルース（1826 - 1900）について触れておこう。彼女は新しい印刷技術を開発し、印刷業で全米屈指の富豪となったジョージ・ブルース氏の娘である。若いときから天文愛好家であり，特にサイモン・ニューカム（Simon Newcomb, 1835-1909、天体力学、航海暦編纂）の著した多くの啓蒙書を読んで天体の写真観測に興味を抱くようになった。晩年になってから天文学発展のために多くの基金を寄贈する。彼女は天体写真儀を 1889 年から 1899 年にかけて、ハーバード天文台、リック天文台、ヤーキス天文台（バーナード）、それに後述するハイデルベルクのケーニッヒシュツール天文台（マックス・オルフ）に寄贈している。ブルースはまた、太平洋天文学会にも多額の資金を寄贈している。学会はこれを基金としてブルースメダルを創設し、毎年顕著な功績を挙げた天文学者に賞金を贈与している。この賞は現在まで続いている。因みに第 1 回はサイモン・ニューカム（1898 年度）で、バーナード（1917 年度）、マックス・オルフ（1930 年度）もそれぞれの年に受賞している。また、日本人の受賞者は林忠四郎（2004 年度）である。

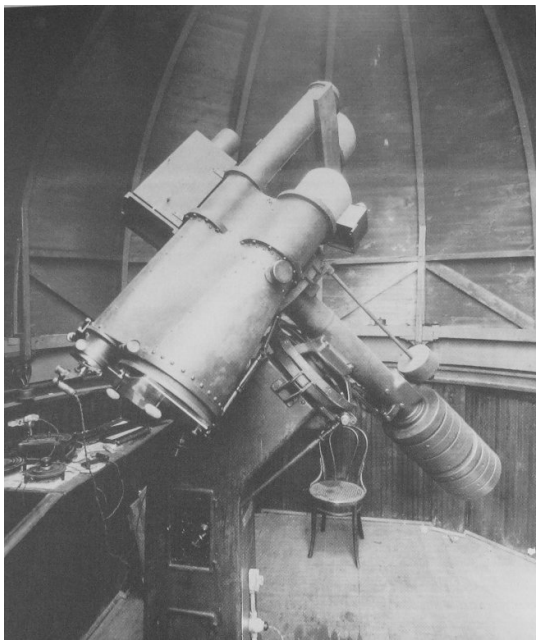


図 31　ヤーキス天文台のブルース写真儀 [68]

バーナードに戻ろう。ブルース望遠鏡と呼ばれるツイン写真儀はレンズの選定などに手間がかかり、完成は 1904 年になってからであった。ブルース望遠鏡は 10 インチ(25cm, F/5)と 6.25 インチ(16cm, F/5)のツイン鏡で 12cm のガイド望遠鏡が付いている。乾板のサイズは、前者は 30cm×30cm（乾板上で 1°= 2.2 cm)、後者は 20cm×25cm で、視野の広さはともに 7° 程度であった。

バーナードは早速、ブルース望遠鏡で観測を始めたが、対象の大半は彗星と太陽系天体であった。彼はナッシュビール時代の 1880 年頃から没年の 1923 年まで 670 編あまりの論文を書いているが（ADS 調べ）、そのうち、彗星と太陽系天体は 400 編以上、変光星が 130 編、それに写真技術の開発関係が 30 編ほどある。星団と星雲の論文は 88 編であるがその中では銀河団の発見や暗黒星雲の正体などが含まれ、観測者としての本領が発揮されている。

2.4　晩年

彼は生涯の最後までヤーキス天文台で観測を行っていた。1921 年にローダ夫人に先立たれて大きな衝撃を受ける。その後も観測を続けているが、夫人を失ってからは次第に体調を崩し、1923 年 2 月、わずかに 6 週間の入院で世を去った。享年 67 歳。夫妻は子供には恵まれなかった。[65], [66]

京都大学の山本一清は 1922 年にヤーキス天文台に滞在中にバーナードに出会い、歓迎を受けている[67]。山本夫妻はバーナードの家を訪ねたときのことを

「(バーナード)先生は私どもの訪問を非常に喜ばれ、気の毒なような弱弱しい体を働かせて、椅子をすすめ、炉の火を燃やし、サイダーをすすめ、絵本や写真を見せ、日本のものを見せ、蓄音機をきかせ、それはそれはご自身で目の回るような接待ぶりで，こちらは全く恐縮しました。」

と書いている。また、山本はバーナードの観測振りについても次のように述べている。

「（先生は）40 インチの順番でない夜は、ブルース写真望遠鏡室で、銀河の長時間撮影をせられるのです。これも人の知るとおり、ずいぶん退屈な仕事ですが、先生は一向おかまいなく、大きな声で歌など歌いながら、終夜、望遠鏡を操っていられます。」

バーナードは 1922 年の暮れから体調を崩し、翌年 2 月 6 日の夜になくなった。天文台の掲示板には「昇天」（Ad Astra）という黒枠の知らせが張り出されたという。山本はその前後天文台に滞在しており、天文台で行われた葬儀にも出席している。

バーナードは生涯故郷のナッシュビールの町を愛し、町には天文教育や普及のためにしばしば訪れている。ナッシュビールではバーナードと同じく同市の出身者であるセイファート（Carl K. Seyfert, 1911 – 1960、セイフ

ァート銀河の発見者）を記念してバーナード・セイファート天文協会が設立され、この協会は今でも天文の教育普及活動を続けている。

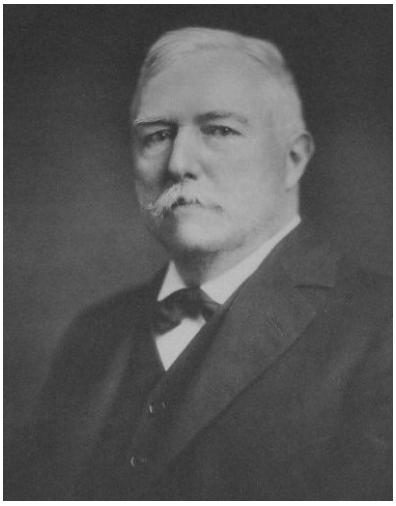


図 32　バーナード肖像［68］

3．バーナードと暗黒星雲

3.1　「天の穴」と「ブラックホール」

バーナードはナッシュビールのバンダービルト大学に在籍していた頃から暗黒星雲の写真撮影を行っている[69]。最初の観測はカシオペア、さそり、やぎ座などに発見した 7 個の「暗黒星雲」に関するもので、彼はそれらを「銀河における小型のブラックホール」と呼んでいる。また「星欠乏域」（star vacant region）とも呼んでいた。当時はまだ、星の少ない領域は「天の穴」と考えられていた。

彼の観測は主に銀河面近傍に向けられていた。明暗さまざまの模様の織り成す美しさに魅せられていたからである。1894－5 年頃の観測では明るい散光星雲と星欠乏域との共存について次のような報告を行っている。

(1)　オリオン座の大ループと呼ばれる淡い散光星雲の内側には明るい星雲と混じって星欠乏域が分布している。(1894)

(2)　さそり座のアンターレス付近には顕著な星欠乏域が存在する。(1895)

(3)　プレアデス星団の北側数度の領域に微光星の少ない、淡い星雲が見られる。星のセミ欠乏域とみなされる。(1904)

(4)　M11 付近とχ Cyg 付近には星の欠乏域とセミ欠乏域が複雑に入り混じっている。(1905)

1906 年にバーナードは、欠乏域は「天の穴」なのか、あるいは何らかの遮光物質の存在によるのか、2 つの可能性を示唆しているが、しかし、まだ星欠乏域にこだわり、欠乏域の存在は星が泡状に分布すれば説明できると考えた。泡の壁に沿って星が分布すればその内部は欠乏域として観測できるはずである[70]。この考えは面白いことに現在の宇宙大構造に見られるボイド構造を思い起こさせる。

図 33　さそり座の暗黒星雲
バーナードが 1906 年に「ブラックホール」と呼んだ暗黒部が明るい小型星団の中ほどに見えている。[70]

3.2　暗黒星雲

1910 年代に入るとバーナードは星欠乏域には何らかの吸収物質が存在するのではないかという推測を強めてきた（1913, [71]）。星欠乏域の本体は不明であり、分光観測も出来ないが、それらは「暗黒星雲」と呼んでもよいと考えるようになった。

1916 年になって彼は、暗黒星雲とは「星が生涯の最後に輝きを失うように、明るい星雲も最後には光を失って暗黒になったもの」であろうと述べている [72]。その例としてハインドの変光星雲（Hind's variable nebula）を挙げている。「この星雲は 50 年前には小型望遠鏡でも明るく見えた星雲であったのに、今では大きな望遠鏡でようやく観測できるようになっている。」（注：この星雲は T Tau 星によって照らされていて、John Hind によって 1852 年に発見されてから減光を続けており、1880 年にバーナードによって再び観測された。1930 年代以降明るさを増している）

1919 年には 182 天体のカタログを作成し、暗黒域（dark markings）の大部分は遮光物質の雲（暗黒星雲、dark nebula）であろうと次のように述べている[73]。

「私は最初から長い間、（星の欠乏域を）遮光物質と信じることができなかった。しかし、写真観測で多くの資料が集まると、これらの欠乏域の大部分は遠方の星にたいし近傍に遮光物質が存在するためであると考えるようになった。」

また、「銀河の明るい星々の雲を背景として暗黒の物質が暗いレリーフをつくり、その背後にある天体を隠している。」とも述べている（1920 [74]）

こうして、星欠乏域の存在を完全に否定したわけではないが、バーナードは長い時間をかけ、ようやく暗黒星雲の存在を認めるようになった。

3.3　銀河の写真アトラス

彼は撮影した銀河のアトラスをまとめたいとかなり早い時期から計画していた。1907 年にはカーネギー財団の資金でアトラスを作成したが、このときは画質に満足できず、未完成に終わっている。その後、シカゴの写真会社コープラン＆サンと提携、35000 枚のネガを検査したという。その結果は 1923 年に原稿が出来上がったが、さらに検討を重ねていた。

アトラスが完成したのは彼の死後である。夫人ローダ・カルバートの姪で、長年、彼の秘書を勤めていたミス・マリー・R・カルバート（Mary R. Clvert)によって編集され、1927 年にカーネギー研究所から出版された[68]。最初は 1, 2 巻に分かれていたが、2011 年に合本として再刊された。合本を見ると次の構成になっている[68]。

1）北西ミシガン大学ドーベック（D. O. Dobek）による再刊の辞

2）序論：ブルース望遠鏡の説明、撮影天域、文献

3) 暗黒星雲カタログ : 349 星雲が Barnard Number として No.1 – No.349 まで含まれ、それぞれの星雲の位置とサイズ、および乾板番号が示され、それぞれに詳しい注が付されている。

4) 図版と説明 : . 51 枚の写真図版が同定図と見開きで示されている。図版中に同定された星はカタログとして、位置、明るさ、分光型も示されている。

5）バーナードの伝記（ドーベック筆）

天域は銀河面のいくつかに限られているが、このアトラスは銀河の美しさを十分に堪能させてくれる。

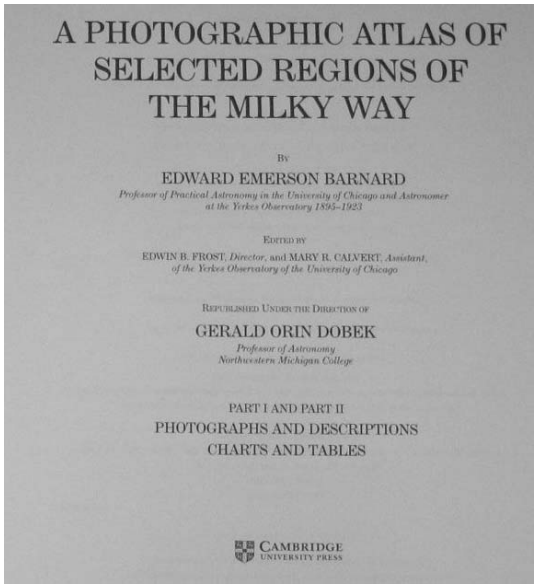
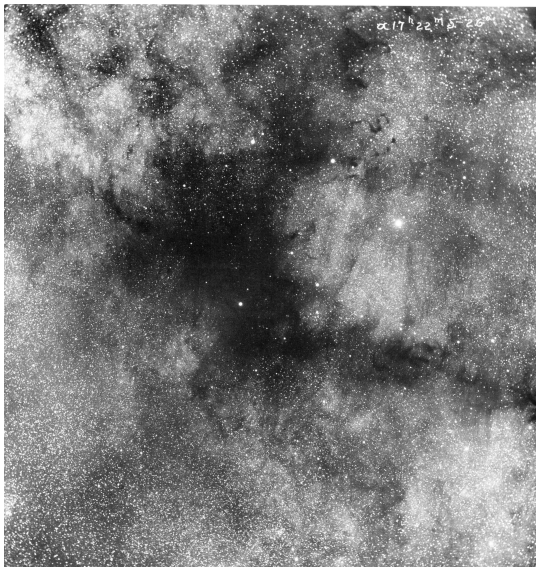
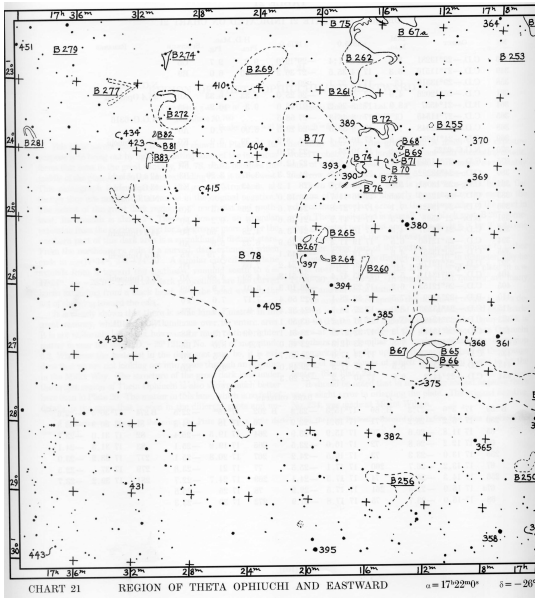


図 34　Altas of selected regions of the Milky Way の内表紙（再刊版）



(a)



(b)

図 35 アトラス図の例（へびつかい座付近の暗黒星雲）[68]

(a) アトラス写真図 (Chart 21)

(b) 同定図（バーナードの星雲番号、主な星の番号が示されている）

中央の大きな暗黒星雲が B78、その右上が B77，左下が B67，また、中央右の明るい星（380）は o Oph (3.20 等星、B3 型)である。この天域には B 番号の付いた 9 個の暗黒星雲が示されている。

4. マックス・オルフ（Maximilian Franz Joseph Cornelius Wolf : Max Wolf、 1863 - 1932）

4.1　生　涯

マックス・オルフは 1863 年 6 月、ハイデルベルクで生まれた。父のフランツ・オルフ（Franz Wolf）は富裕な開業医で、母エリーゼ（Elise Helwerth）とともに教養あふれる家庭を築いていた。父は星座にも興味を持ち、マックスを戸外に連れ出して星座の案内をした。こうしてマックスも自然に星空に関心を

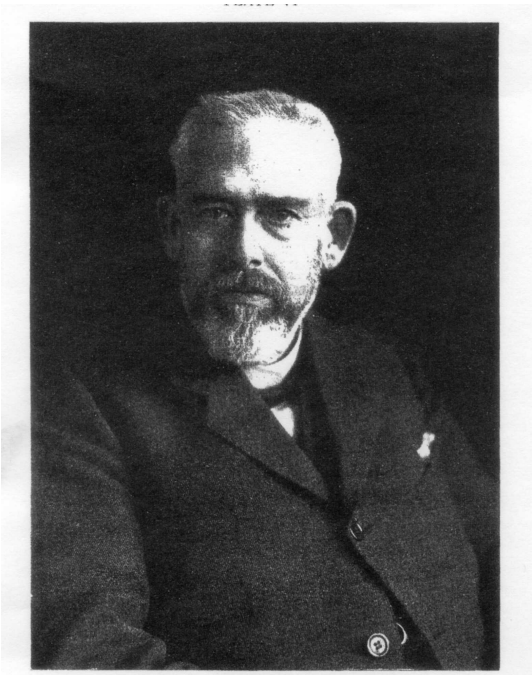
持つようになった。([75], [76], [77])

マックスが 16 歳（1879）のとき、父はマックスのために裏庭に 6 インチ望遠鏡を備えた小型天文台を建設した。その頃はちょうどゼラチン・ブロマイド乾式乾板が広まり、写真撮影が流行のように広がっていた。1875 年にはすでにウイリャム・ハギンスが天体スペクトル撮影に乾式乾板を用いている。

そうした流行に目をつけ、マックスは望遠鏡にカメラを取り付け、彗星と星雲の写真撮影に乗り出した。大学は地元のハイデルベルグ大学に入学するが、自宅では相変わらず天体写真に凝っていた。1882 から 2 年間、兵役に服していたが、除隊した翌年、1884 年(21 歳)に最初の彗星を発見する。これは 14P/Wolf と名づけられた周期彗星であった。

1885 年に無事卒業し、大学院に進んで、1888 年ハイデルベルク大学から天文学の学位を得る。翌年は 1 年間ストックホルム大学にポストドクターとして留学し、1990 年からハイデルベルク大学の無給講師（天文学）として天体写真の開発に取り組む。この年にはイェナのカール・ツァイス社と共同でブリンクコンパレータを開発している。これは 2 枚の大型写真乾板を左右に並べ、短時間に切り替えて同一視野内に交互に映し出すもので、星の位置や明るさの変動が容易に検出できる。オルフはこのコンパレータを用いて多数の小惑星や変光星を発見している。彼がハイデルベルグ大学で用いていたのは 6 インチのツイン写真儀で写真撮影とガイドに用いられた。視野は 12°×8°の広がりをもち、広域サーベイにも適しているので、彼はこの方法で広範な星雲の探査も行うようになる。

1893 年、ハイデルベルク大学天文学教授となり、海抜 400 メートルの山頂にケーニッヒシュツール天文台（Königstuhl Observatory）の建設に取り掛かる。準備の一環としてアメリカの各地の天文台を訪問し、望遠鏡や観測機器の視察を行うが、特にニューヨークでは前述（2.3 節）したミス ブルース（Catherin Wolf Bruce）に紹介される。ブルースは彼のために望遠鏡製作費として 10000 ドルを提供した。



Photograph used with permission of Transocean-Gesellschaft, Berlin 9.

図 36　マックス・オルフ肖像 [75]

彼は早速、広域写真観測を主体とした口径 40cm(口径比 5)の望遠鏡の設計に取り掛かる。これはアメリカのブラッシャー社によって製作されて 1898 年に完成する。望遠鏡はオルフによって天文台に格納され、ブルースツイン写真儀と名づけられた(図 37)。天文台本体も 1900 年に完成し、いよいよオルフの観測がはじまる。また、1906 年にはドイツ在住のワルツ夫人から寄付があり、口径 72cm のワルツ反射鏡が製作された。これは主として分光観測に使われる。

図 37　ケーニッヒシュツール天文台のブルースツイン写真儀　（出典：http://en.wikipedia.org/Catherine_Wolf_Bruce）

1897 年、ギセラ・メルクス（Gisela Merx）と結婚する。父のメルクスは旧約聖書の歴史的研究家で、ハイデルベルグ大学の教授である。オルフはギセラとの間に三人の息子をもうけたが 3 人ともそれぞれ物理学、生理学、文献学の分野で大学教授になっている。オルフは 1932 年に没するまでケーニッヒシュツール天文台長を務め、生涯に 700 編以上の論文を公表しているが、その大部分はバーナードと同じように小惑星や彗星など太陽系の小天体である。特に多いのが小惑星の観測で生涯にわたって 228 個の小惑星を発見している。また、変光星の探査とモニターも広く行っている。星雲の観測は論文としてはそれに次ぐが、観測天域は銀河面から離れた全天に渡り、銀河団の発見や、暗黒星雲の正体の解明など、広い範囲にわたっている。伝記を書いたジューガン[75]は、オルフが多様な観測の中で最も情熱を注いだのは星雲や星団ではなかったかと推測している。

オルフは魅惑的な人柄であった。ハイデルベルグの美しい庭を持った自宅には友人たちを招待して交友を楽しむ機会が多かったという。彼は社会や歴史にも興味を持ち、また、熱心なクリスチャンでもあった。最後まで天文台長の職に留まっていたが、病を得て 1932 年 10 月に他界した。享年 69 歳であった。後には夫人と 3 人の息子が残された。

4.2　星雲の観測

1）星雲の探査と分類

ブルース写真儀による観測はワルツ反射望遠鏡とともにオルフに大きな成果をもたらした。広域写真によって星雲の探査を行い、ワルツ鏡によって細部の写真と分光を行うことができたからである。

彼はまず選択天域について多数の星雲の写真撮影を行い、眼視観測では識別困難であった天域の詳細な探査によって多数の明るい星雲を発見している。選択域は銀河面に限らず、銀極にまで及んでいるので検出された星雲は多様である。彼はそれを次のように分類している。(1902 [78])

a）形状

I. 規則的（円形、楕円形、渦巻型など 5 細分）

II. 不規則的　（核の有る無しによって 2 細分）

III. 構造を示さず広がった星雲

規則的形状で星雲は銀河面内外の天域を含むので、円形では惑星状星雲や楕円銀河などを含んでおり、楕円形は主に楕円銀河、渦巻型はほぼ渦状銀河である。

b）サイズ　S (small, 6 段階に細分)と L（large, 5 段階に細分）

最小のサイズは 4 秒角以下とあるので、星像より少し大きい程度の細かい星雲を含んでいるので NGC カタログにない星雲が多い。

c）明るさ　F(faint, 6 段階に細分)と B(bright, 3 段階に細分)

露出時間 5 時間でようやく検出できるものから、肉眼で認められるものまでを 9 段階に細

分している。

形状による分類とともに、彼はいくつかの星雲に対しては分光観測を行い、輝線、吸収線、連続光を示す星雲を区別している。明るい散光星雲の NGC 6210, 6720 (= M57) などについて輝線のなかにバルマー線（Hα - Hδ)、ヘリウム輝線、星雲輝線([OII], [OIII]) などを同定している。吸収線や連続光は星雲を光らせる星がA型より晩期の場合に現れる。

高銀緯の天域に小型星雲を探索中、彼はヘルクレス座に星雲の集団を発見して興奮したという。30 分角以内に 100 以上の渦状星雲と楕円星雲が群がり、集団を形成している。彼はこの集団を星雲団（nebular cluster）と名づけた。これは後にハロー・シャプレーによって Coma-Virgo 銀河団と命名されるが、これが銀河団（cluster of galaxies）の最初の発見となった。彼はまた、こうした渦状星雲が銀緯に関係なく、広く分布することから、渦状星雲は銀河系より遠い天体ではないかと推論している　(1912 ,[79])。

2) 星雲リストの作成

オルフは観測された天域について星雲リストの作成を行い、ケーニッヒシュツール・ハイデルベルグ星雲リストとしてリスト No.1（1902）[80]から No. 14 (1913) [81] まで、合計6000個の明るい星雲をリストしている。それぞれのリストは目印の星を中心に数 100 個の星雲を含んでいる。例えば 17 Com (No. 4), ι Leo (No. 7)、χ UMa (No.12) などがあり、視野の広さは使用したカメラによって 5° 平方から 8° 平方まで数種類ある。各リストは中心の位置、星雲のサイズ、明るさ、主な性質の記号が表記されている。最後のリスト No. 14　は M33 付近で 517 星雲を含み多数の渦状星雲を含んでいる。これらの星雲リストは小型星雲が中心なので NGC カタログにない天体が多い。 例えばリスト No.1 は 154 星雲を含むが、そのうち、NGC 番号を持つのはわずかに 7 星雲である。

3) 明るい星雲と暗黒星雲（星欠乏域）との対比

大型の明るい星雲は多くの場合、星欠乏域に取り囲まれている。明るい星雲と星欠乏域とは複雑に入り込んでいるが、彼は小型の星雲に見られるいくつかの特徴的は模様に注目している。その例の一つにオルフが H IV 74 Cep と呼んだケフェウス座の星雲（NGC 7023）がある [82]。それを図 38 に示そう。図の横に Fig..1, 2 とある内、Fig. 1 はブルース写真儀による広域写真、 Fig. 2 は 72cm ワルツ反射鏡による拡大写真である。オルフはこの星雲の特徴を次のように描き出している。

(a) 小型星雲 NGC 7023 は殆んど微光星の見えない星欠乏域に取り囲まれている。拡大図（Fig. 2）をみると、欠乏域の直径は 0.5 度角程度である。

(b) 星雲を取り囲む欠乏域は北に延びており、星雲の中心から約 1 度角のところで二股に分かれ星のリッチな領域に溶け込んでいる。

(c) 星雲の中心には 7 等級の星（BD +67 ° 1283、A 型）が見えている。

(d) 同様の例がはくちょう座にも見られる。ここでは 9.5 等星を中心とする小型星雲の周りを欠乏域が取り巻いており、欠乏域は西に向かって細長く伸び、およそ 2 度角の先で淡い散光星雲に埋もれる。こうした例はオリオン座(ζ Ori 付近)など他の星座にも見られる。

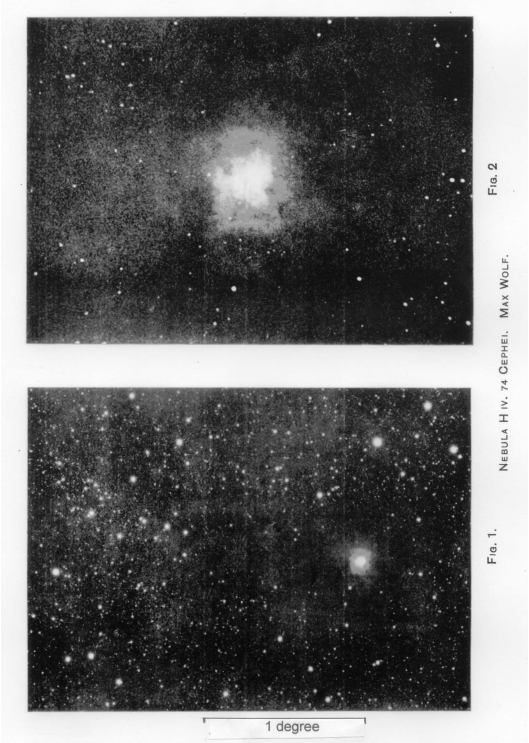


図 38 (10) ケフェウス座の星雲 H IV 74 Cep (NGC 7023) [82]
上段 (Fig.2)　はワルツ反射鏡、下段(Fig.1)はブルース写真儀による画像で下辺に１度角のスケールを示す。

このような星雲をオルフは洞窟星雲（Höhlennebel）と呼び、長く延びた欠乏域を洞窟（Höhle）と呼んでいる。洞窟の奥に光った星雲が鎮座するという類推であろうか。

オルフはこの星雲と中心星の分光観測も行っており、星雲が惑星状星雲などに見られる星雲輝線を示さないことを示した。彼はこの星雲は中心星の連続光によって明るく輝くのであろうと述べ、反射星雲であることを示唆している（1917, [83] ）。オルフは洞窟星雲と同時に彼が境界星雲（Randnebel）と呼んだ明るい散光星雲の周辺の星欠乏域にも注目した。その例は北アメリカ星雲である。この星雲は周辺に比べて星リッチになっているので、それを取り巻く欠乏域は星リッチ域を取り巻くという意味で境界星雲と呼ばれる。星雲には洞窟星雲と境界星雲とはっきりするものもあるが、その中間のものや、それから外れた不規則星雲も多いので、オルフも星雲の多様性にも注目すべきであると述べている。オルフはこの時期（1917 年）には明るい星雲や暗い星雲の中で、星欠乏域が実際に星の少ない「天の穴」なのか、何らかの吸収体なのかについては「今のところはっきりしない」と見解を避けている。

4.3　暗黒星雲と星計測法（star count method）

オルフが星欠乏域を暗黒星雲と明白に認めたのは 1923 年である [84]。それは彼の星計測法と関連している。彼は白鳥座のヴェール星雲のうちNGC 6960付近の星欠乏域について次のような見解を述べている。

1）この付近では明るい星雲と星欠乏域とが複雑に入り混じっている。この星雲は大きなリング状の星雲の西端にある。このような明るい星雲から暗い星雲への移り変わりは両者がわれわれからほぼ同じ距離にあって、並存しているとみなすべきである。

参考までにこの領域の写真を図 39 に示そう。この写真を見ると星雲の西側には暗黒星雲が南北に走っており、明るい星雲から徐々に暗い星雲((欠乏域)へと移っていく様子も見られる。オリオン星雲、M8, M20 星雲の近傍などにも同様の移り行きが見られる。

2）星欠乏域を遠方の星が遮光された領域とみなすと遮光の様子は、近傍の非遮光域と星数の比較によって導くことが出来る。これを星計測法（star counting method）と呼び、それを NGC 6960 近傍に適用してみよう。測定する天域は NGC 6960 の西側に隣接す

る、遮光された領域と非遮光領域である。いま、それぞれの領域で１平方度あたり、m 等級までの星の総数を Bm とし、両天域の Bm を m について計測結果を示すと図 40 のようになる。

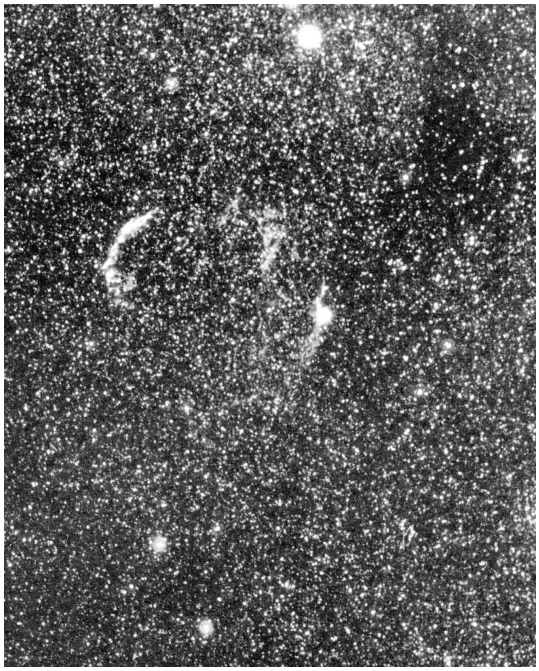


図 39　白鳥座ヴェール星雲付近のＨα線写真、上が北、右が西 NGC 6960 はヴェール星雲の西端にあり、白鳥座ε星が図の上端に見える。星雲の西側を暗黒星雲が南北に走っている。[85]

図 40 を見ると、12 等級より暗いところでは両天域の Bm は平行に走り、水平方向の差はほぼ 1 等級である。両者は 11 等の明るさで一致する。これは遮光域が非遮光域に対して 1 等級の減光を受けていることを示す。11 等級の平均視差はカプタインによると 0.0022 秒角である（源流 [20]）。これは 1500 光年に該当する。この距離から減光が始まって、12 等級で減光の光度差が 1 等級に達することから、遮光体の厚さは約 500 光年と見積もられる。これが遮光域の正体で、それは暗黒星雲である。

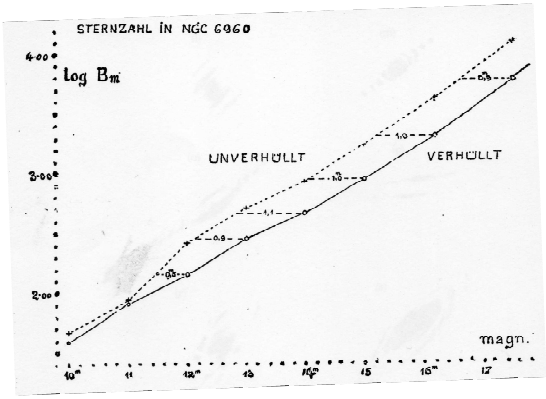


図 40　星計測法、オルフ図と呼ばれる [84]　横軸は星の見かけの等級、縦軸は累積星数で、点線は非遮光域（Unverhüllt）、実線は遮光域（Verhüllt）の星数を示す。

3）それでは遮光の原因は何であろうか。ガスの雲であろうか、それともダストの雲であろうか。彼は、もし、ガスであるとすると、レーリーの法則によって紫側の減光が起こり、それより近傍の星は赤くなるはずである、一方、ダスト雲ならば赤化は生じない、と考えた。そこで彼は NGC 6960 周辺に選択した遮光域と非遮光域について「露出時間比」法という方法で星の赤化量（色指数）の測定を始めた。それは青と黄色領域を通すフィルターを用いて星像の直径が等しくなるように露出時間を調整するという方法である。その結果、彼は遮光域と非遮光域とで色指数に変化の見られないことから、遮光体はダストであろうと結論した。

現代的視点から見ると、暗黒星雲は背景光を　散乱吸収するダスト成分と低温の分子ガス成分から成っている。ダスト成分は減光と赤化の両方の効果を生じるが、オルフ図は減光量から星雲の距離とサイズを導いたものである。星雲をダストとする推理には誤った点

もあるが、星雲の正体をダストと推測したのはオルフが最初であった。

オルフ図はその後も暗黒星雲の光学的厚さやその距離を推定する手段として広く応用されるようになった [86]。なお、暗黒星雲全般については拙著 [87] を参照されたい。

文 献

[60] Ashbrock, J. 1980, in The Astronomical Scrapbook, Cambridge U. P., p. 392 – 396, A hole in the sky. (天空の穴)

[61] Herschel. John 1847, Results of astronomical observations made during the years 1834, 5, 6, 7, 8, at the Cape of Good Hope, being the completion of a telescopic survey of the whole surface of the visible heavens, commenced in 1825, London, Smith Elder and Co.

[62] Dick, Thomas 1840, The Sidereal Heavens and other subjects connected with astronomy, as illustrative of the character of the deity, and of infinity of the worlds.

[63] Verschuur, G. L. 1989, Interstellar Matters, Essays on Curiosity and Astronomical Discovery, Springer-Verlag. (星間物質に関するエッセイ集)

[64] Frost, E. B., 1923, ApJ, 58, 1 – 35, Edward Emerson Barnard (追悼、伝記)

[65] The Bruce Medalists: Edward Emerson Barnard, <http://www.phys-sonoma.edu/burucemedalists/Barnard/Barnard.html >

[66] Wikipedia, Edward Emerson Barnard, <http://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Emerson_Barnard >

[67] 山本一清 1923, 天界、3、331-340、バーナード先生のこと

[68] Frost, E. B. and Calvert, M. R. 1927, A Photographic Atlas of Selected Regions of the Milky Way. (合本は 2011, Cambridge U. Press より)

[69] Barnard, E. E. 1884, AN, 108, 369 – 370, New nebulae. Small black hole in the milky way, - Duplicity of β 1 Capricorni, (天の穴＝ブラックホール)

[70] Barnard, E. E., 1906, Pop. Ast, 14, 579 - 583, On the vacant regions of the sky.

[71] Barnard, E. E., 1913, ApJ, 38, 496 - 501, Dark regions in the sky suggesting an obscuration of light.

[72] Barnard, E. E. 1916, ApJ, 43, 1 – 8, Some of the dark markings on the sky and they suggest.

[73] Barnard, E. E. 1919, ApJ, 49, 1 - 13, On the dark markings of the sky, with a catalogue of 182 such objects.

[74] Barnard, E. E. 1920, AJ, 33, 86, On the comparative distances of certain globular clusters and star clouds in the Milky Way.

[75] Dugan, R. S. 1933, PA, 41, 239 – 244, Max Wolf. (追悼と伝記)

[76] Tenn, J. S. 1994, Mercury, 23, No. 4, 27 – 28, Max Wol, The Twenty-Fifth Bruce Medalists (追悼) <http://www.phys-sonoma.edu/burucemedalists/wolf/ >

[77] MacPherson, H. 1932, Obs., 55, 355 – 359, Max. Wolf. (追悼)

[78] Wolf, M, 1902, Publ. Ap. Inst. Königstuhl-Heidelberg Sternwarte, 1,

125 – 176, Die Nebelflicken am Pol der Milchstrasse. (星雲の分類法)

[79] Wolf, M. 1912, AN, 190, 229 – 232, Die Entfernung der Spiralnebel. (渦状星雲は銀河系より遠方の天体か)

[80] Wolf, M, 1902, Publ. Ap. Inst. Königstuhl-Heidelberg Sternwarte, 1, 11 – 15, Verzeichniss von 154 Nebleflicken （星雲リスト No.1）

[81] Wolf, M. 1913, Veröffentlichtungen der Sternwarte zu Heiderberg, 6, 115 – 116, Königstuhl-Nebel Liste 14 （星雲リスト No.14）

[82] Wolf, M. 1907, MNRAS, 68, 30 -33, The Nebula H IV 74 Cepher. (NGC 7023)

[83] Wolf, M. 1917, A.N. 204, 41-42, Über das Specktrum der Höhlennebel.

[84] Wolf, M. 1923, A.N. 219, 109 – 116, Über den dunklen Nebel NGC 6960.

[85] Kogure, T., Kobayashi, Y. et al. 1982, An Atlas of the Northern Milky Way in the H-alpha Emission, Department of Astronomy, Kyoto University.

[86] Trumpler, R. J. and Weaver, H. F. 1953, Statistical Astronomy, Dover Publ. Inc., Chapter 5, Space distribution of stars. （統計天文学視点からの Wolf 図の詳しい解説）

[87] 小暮智一 1994, 星間物理学（10, 11 章）、ごとう書房

小暮智一（京都大学 OB）

＊　＊　＊　＊　＊