

惑星間空間シンチレーションによる太陽風の観測

渡 辺 堯*

1. 天体電波源の惑星間空間シンチレーション

Twinkle twinkle little star... と歌われるように夜空の星はキラキラと瞬く。この現象はシンチレーションと呼ばれ、大気の流れによって生ずるところから大望遠鏡の設置場所を決定する際に問題となる。彼の有名な 200 インチ望遠鏡を置く場所を物色していたところ、ここぞと思った所に住んでいた婦人が「ここは星が大変美しくキラキラ輝くので天体観測には良いところだと思いますワ」と仰ったので慌てて逃げ出したという話もあるそうだ。ところで、キラキラ瞬くのは星の光だけでなく、準星等の視直径の大変小さな電波源（2秒角以下）、即ち little radio star の電波も瞬くのである。3C48 という準星の電波がシンチレーションを起している様子を図1に示す。ペンレコーダーに書かせるとキラキラどころかガチャガチャといった感じになり、さっぱりロマンチックでないのが残念である。準星の電波のシンチレーションは、電波が太陽から吹き出すプラズマ流である太陽風の中を通るとき、電子密度のゆらぎによって回折を起す事によって生ずる。従ってこれを観測すれば太陽風について何等かの情報が得られる事が期待出来る。また、星の場合でも「恒星は瞬くが惑星は瞬かない」という小学生でも知っている現象を利用して、準星等の微小電波源の大きさや形状について調べる事も可能である。

2. シンチレーション観測

2.1 シンチレーションのスペクトル

シンチレーションのガチャガチャをスペクトル解析した結果を図2に示す。周波数が 0.1 Hz 以下の成分は電

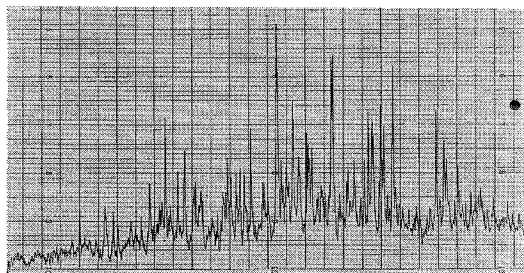


図1 準星 3C48 のシンチレーションの記録 (1973年3月28日)。横軸1目盛が30秒に相当。

* 名大空電研 T. Watanabe
The Observations of the Solar Wind through the Interplanetary Scintillation

離層シンチレーションの影響を強く受けるので取り除いてある。左側の図に示したように通常のシンチレーションは大体において周波数の指数関数によって近似される。これは太陽風の中の電子密度のゆらぎの分布がやはり指数関数的である事を反映している。時には右側の図に示したようないわゆる線スペクトルも現われる。この場合は約 800 km の大きさの乱れが規則正しく流れていた事を示しており、太陽風の中に波動現象の存在する事を示唆している。

2.2 シンチレーション指数

これはシンチレーションの程度を表わす指数で、強度変化の2乗平均を電波源の強度を基準にして求めるものであり、散乱が弱い場合は電子密度のゆらぎの程度に比例する。我々は電波源の方向における銀河のバックグラウンドの雑音レベルを基準にしているため、個々の電波源についての相対的な変化のみを問題にする。観測している場所の太陽からの距離によってシンチレーション指数がどのように変化するかを図3に示す。観測周波数は 69 MHz である。電子密度のゆらぎは太陽に近づくにつれて増加するためシンチレーション指数も太陽に近いところ程増大するが、太陽から大体 0.5 天文単位 (AU) のあたりをピークとして急にシンチレーションが弱くなる。これは太陽の近くでは散乱が強すぎる事によると考えられている。

2.3 太陽風の速度

シンチレーション観測が最近俄に注目され始めたのは人工天体を打上げると全く比較にもならない少額の経費でもって太陽風の速度が計れる、という点にある。太

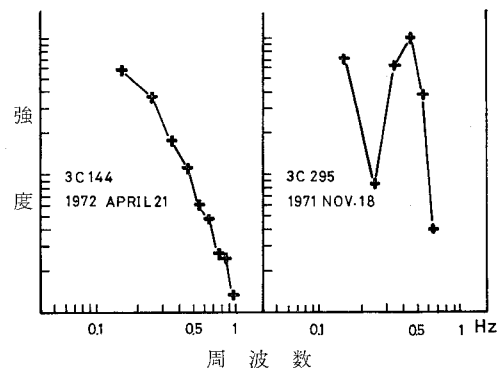
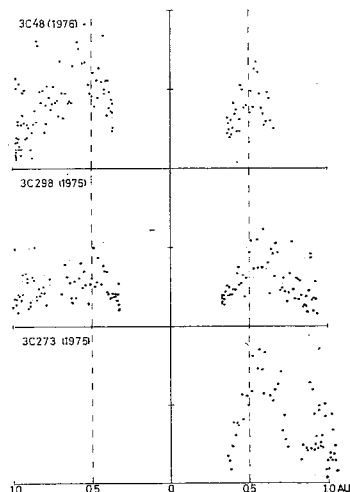


図2 シンチレーションのスペクトル。左: 指数関数的な連続スペクトル。右: 線スペクトルの現われた例。

図 3 69 MHz におけるシンチレーション指数 (縦軸) と太陽からの距離 (横軸) との関係。横軸は天文単位。



陽風中の乱れによって生じた準星の電波の回折像 (丁度プールの底に出来る光の縞模様のようなもの) は地表を太陽風の速度 (平均 400 km/秒) でもって移動するため、3 地点で同時にシンチレーション観測を行えば太陽風の速度がわかる筈である。このアイデアを最初に実行したのがパルサーの発見でノーベル賞を受賞した Hewish (英) である。因にパルサーを発見したアンテナはシンチレーション用のもので、受信器の時定数を電波天文における常識的な値 (~10 秒) よりずっと短かくしていたために、短周期でパルスを出すパルサーが見つかったのである (こういうのを俗にヒョウコマという)。余談はさて置き、我々も 1971 年より図 4 に示したような配置で観測を行っている。現在では「信ゾラレーション」なんて言う人も少なくなつて、我国唯一の太陽風データの供給源となっている。

3. シンチレーション観測の世界情勢

最初に 3 地点観測を行った英国 Hewish のグループは 1960 年の後半に若干の観測を行つて、これで太陽風の観測が出来るヨ、と言ひ残して自分達で見付けたパルサーの観測に血道を上げてしまった。以後は多くの準星のシンチレーション指数の観測から視直径を推定し、星間プラズマの乱れによる星像の拡大の分布等の研究をしている。ソ連でも英国と同時期に観測を行つたが今は止めてしまった。現在観測を継続的に行っているのは我々のグループと米国カリフォルニア大学 (UCSD) のみである。オーストラリアのアデレード大学でも準備が進んでいたが結局「未完成交響曲」。3 地点観測が永続きしないのは互に 100 km 以上離れたアンテナを駆けずり回つて御守しなければならぬつらさにあるようだ。インドでもこれを行うべく準備中とのことで、時間的分解能の向上が期待される。

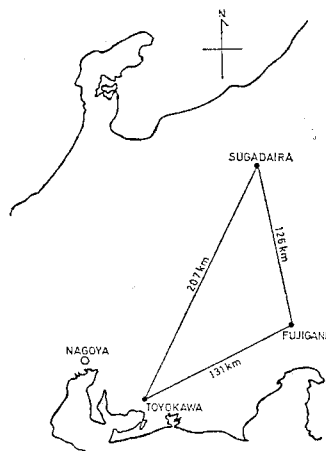


図 4 シンチレーション観測アンテナの配置図。

4. シンチレーションによる太陽風の観測

4.1 高速ストリーム

これから、シンチレーション観測によって調べられた太陽風内の諸現象の一部を述べたい。先ず太陽風の中には 300~400 km/秒の遅い (!) 流れと 500~700 km/秒の速い流れとが混在する (風の中にも更に流れがあるなんて何となく「風流」ですナア)。太陽活動の低い時期には十数日も継続する速い流れが数太陽回転にわたって規則正しく出現し、回帰性地磁嵐の原因になっている。このような高速ストリームはシンチレーション観測により明瞭にキャッチ出来る。図 5 にその例を示す。参考のため同一のストリームを人工衛星によって観測した結果も示してある。シンチレーションの強さは速度の上りかけの部分で上昇しているがこれはストリームの前面にお

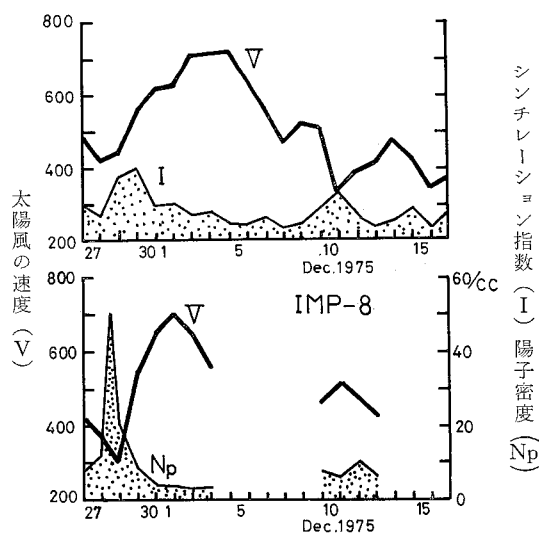


図 5 上段: 3C298 のシンチレーションによる高速ストリームの観測例。下段: 上と同じストリームを人工衛星 IMP-8 にて観測したもの。

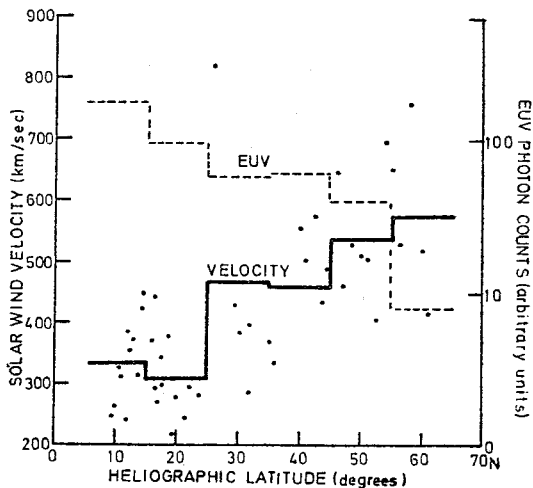


図6 太陽風速度の緯度分布と EUV コロナの輝度との関係。横軸日面緯度、縦軸は太陽風速度(点と実線)と EUV コロナの輝度(点線)。

いて太陽風の密度が上昇する事と良く対応している。これは高速の流れが低速の流れの中に入り込んで行く際、密度と共にプラズマの乱れも大きくなる事を示している。高速のストリームはコロナの輝度の特に低い領域(コロナホール)から出ているらしい事が最近の研究により明らかになってきた。

4.2 太陽風速度の緯度分布

若干精度は落ちるにしてもシンチレーション観測が大きな顔をしていられるのは、黄道面内を這いずり回っている人工天体では及びもつかない高緯度帯を吹く太陽風の観測が出来るという事にかかっている。例えば図6に示したように観測している場所の緯度が高くなるにつれて平均的な太陽風の速度が着実に上昇して行く状態がしばしば観測される。この傾向は同図にあるとおり EUV (極紫外) コロナの輝度が高緯度帯で暗くなることと良い相関を示している。コロナの輝度分布はコロナ中の磁場の形を良く反映しており磁力線の開いたところでは暗く、閉じたところでは明るくなっているが、観測によると高緯度帯において磁力線が開いて行くにつれて太陽風の速度が上昇して行く事を示している。前述の高速ストリームの水源であるコロナホールもこうした開いた磁力線の存在するところに生ずる。従ってこの節で述べた現象は太陽の頭の頂上にコロナホールが存在する事を意味している。頭のてっぺんに穴があいてはいても太陽はその中に身投げするなんて事はしないようである。

4.3 太陽フレアに伴うショック波

太陽面上で大きなフレアが起きるとショック波が発生し、それが地球磁気圏をゆさぶり、電話線に誘導電流が流れて交換器がパンクしたなんて話もある位、太陽地球間物理学の研究においてショック波の占める地位は高

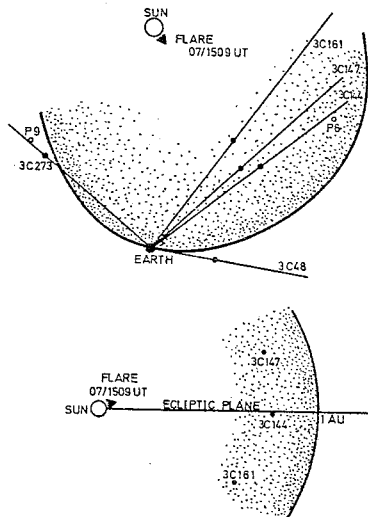


図7 1972年8月7日の大フレアに伴ったショック波の平面図(上)と断面図(下)。黄道面上に投影した各電波源への視線の位置が上図に示してある。

い。電波源の視線をショック波が横切ると高速ストリームの場合と異ってシンチレーションの強さと速度とが同時に急上昇する。色々な方向にある電波源を観測しているとショック波の空間的な拡がりをはっきりわかる。観測史上名高い1972年8月初旬に起った大擾乱時におけるショック波の形を図7に示す。3次元的なショック波の形を観測的に決定したのはこれが最初である。シンチレーション観測では密度を計る事が出来ないため通常の方法でショック波の速度を求める事は出来ないが、ショック波が乱れたプラズマ(ピストン)で押されている場合には、ピストンの速度の変化等が良く観測される。

4.4 太陽風の乱れの異方性

地上に映じた回折像は大体において長円形で近似出来るようであるがその軸の方向は色々に変化する。しかし時としてある方向への偏りがかなり長期間継続する場合がある。一つの原因としては電波源の輝度分布が等方的でないという事があり、実際そのような異方性をもった電波源もシンチレーション観測によって見付かっているが、どうしても太陽風の中の乱れの特異性によると考えなければならない場合も多くある。偏りをもたらす原因としては惑星間磁場の影響等が考えられるがまだ良くわからない。

5. UHF 帯におけるシンチレーション観測

第2.2節で述べたように観測している場所がある距離より太陽に近づくると急にシンチレーションが弱くなって観測出来なくなる。従って現在我々が行っている VHF 帯(69 MHz)においては太陽から大体0.4天文単位より

近いところの太陽風の観測は不可能である。これを可能にするためには観測周波数をもっと高いところへ上げなくてはならない。そこでマイクロ波帯におけるが如く数太陽半径の場所を流れる太陽風の観測は出来ないにしても 300 MHz 以上の UHF 帯であればアンテナも現実的な費用で建設可能であり、しかも太陽から約 0.1 天文単位あたりの太陽風の観測は可能である、という見地に立って装置の建設に取掛かったところである。アンテナは表紙の図に示したような外観を持つ東西 100 m、南北 20 m のシリンドーパラボラアンテナで、豊川、富士嶺、菅平の 3 地点に同一のものを建設する予定である。観測周波数は 330 MHz 近辺を考えている。これによる観測と現行の VHF 帯における観測とを組み合わせると太陽から計って 0.1 天文単位から約 1.1 天文単位までを流れる太陽風の観測を総合的に行うことが可能となる。太陽風の加速の過程や高速ストリームの進化、ショック波の伝播の様子等について詳細なデータが得られる事が期待される。

6. おわりに

1969 年より始めたシンチレーション観測も、観測点が二点三点と増えた上、富士・菅平共アンテナの位置が二転するなど七転八倒の忙がしきで今に至っている。観測装

置も段々と進歩し移相器を何百個も作って電波源を追尾したり、データもその日のうちに電話回線を使って豊川に送るシステムも完成に近づきつつある。これに建設中の UHF アンテナが加わるとなるとシンチレーション観測も今や最盛期を迎えた感がある。しかし何しろ space physics というのは進歩が速いので今太陽活動サイクルがこの観測の正念場となるう。

最後にこの一文を草する機会を与えられた事を奇貨として、観測遂行に多大の御協力をいただいた富士豊茂開拓農協の皆様、東京教育大（現筑波大）菅平高原生物実験所の皆様、電気通信大学芳野研究室の皆様、そして現在観測テープ交換やら何やらで御世話になっている菅平の竹村十郎氏、富士嶺の山口経宣氏に厚く御礼申し上げます。

お知らせ

日本学術会議第 11 期会員選挙について

このことについては、本誌 1977 年 2 月号で既にお知らせ致しましたが、今後の選挙行事予定は下記の通りになっておりますので、関係者は御留意下さい。

10月中旬	投票用紙、選挙公報等の発送
11月25日	選挙期日（投票の締切）
11月27日～12月1日	開票
12月1日	当選人の決定とその告知
12月上旬	当選人氏名の官報公示

なお、詳細は学会又は各研究機関へお問い合わせ下さい。

わが国唯一の天体観測雑誌

天文ガイド

定価240円(〒45円) 77-12月号・11月5日発売!

●12月号おもな内容

- ★来年はどんな天文現象があるだろうか? 1978年の天文現象は藤井旭さんの解説です。皆既月食や金星食もあり、にぎやかな年になりそうです。
- ★この冬の流星群の条件は? ふたご群とりゅう座群の観測ガイドは藪保男さん。
- ★太陽がいよいよ活動期に入ってきたようです。太陽の活動にも注意しましょう。スペクトロ・ヘリオスコープの紹介は大西俊夫さんです。
- ★ポジフィルムから直接すばらしいカラー写真が焼きつけられます。どのようにやって? どのような装置で?

103aによる 散光星雲

オリオン大星雲に大表される、淡く美しい星雲の写真集です。天体写真専用のコダック103aフィルムを使ったため、今までにない写真が撮れました。

1つの星雲につき標準レンズから望遠レンズまで色々な大きさで見せ、形の変化を楽しませてくれます。

また、各所にそう入されている星図を利用して、読者も写真を撮ることができます。

●井田三良他著/B6判・120ページ・700円発売中

誠堂新光社 東京都千代田区神田錦町1-5

振替東京7-6294 電話03(292)1211