谷川清隆 訳

Nature **184** (1959), 844-846.

星間通信の探索
Searching for interstellar communications

G. Cocconi and P. Morrison

序

以下のことがらに関し信頼し得る見積りを可能にする理論はいまのところない. (1) 惑星形成; (2) 生命の起源; (3) 高度な科学を持つ社会の進化. このような理論はないけれども, 我々の環境が示唆するところによれば, 数十億年の寿命の主系列星が惑星を持ち, そのような少数の惑星の中で 2 つ (地球とおそらくは火星) が生命を保持し, 科学研究に進むまでの社会を育てる可能性がある. このような社会の寿命は未知である. だが, このような社会のうち幾つかが, 人類の歴史年代と比べられるほど, あるいは地質年代に比肩し得るほどの長さにわたって自己を保持することを否定する根拠はない. だから, 太陽に似た星のどれかの近くに, 科学的な興味を持ち, また我々よりも技術的に優れた文明があるはずである.

そのような社会の構成員にとって, わが太陽は新しい社会を進化させ得る場所に見えるだろう. わが太陽系において科学が発展することを彼らがずっと待ち続けていることも大いに考えられる. いずれ我々が気づくことになる通信チャンネルを, 彼らがはるか以前から敷設しておいて, 我々が新しい社会を作ったことを知らせる信号を出すことを辛抱強く待っていると仮定しよう. とすると, 彼らの用意したチャンネルはどんなものか?

最適なチャンネル

銀河のプラズマを通ったときに, 方向に関しても時間に関しても分散しない星間通信は、我々の知る限り電磁波を使ってのみ可能である.

発信源を操作する生命体の目的は, 新しく発展した社会を見つけることであるから, 使われるチャンネルは検出器上で周波数や角度分解能にもっとも負担が少ないものであろう. その上, チャンネルは宇宙空間や地球大気で大きく減衰しないはずである. $\sim 1MHz$ 以下の電波周波数や $30000Hz$ 近辺の分子吸収線より高周波で宇宙線のガンマ線のエネルギーにいたるまでは, 惑星大気によって吸収されてしまう. 可視光の近くやガンマ線領域は物理的に可能なバンド幅であるが, 大きなパワーを必要とするし高度の技術が必要である. そこで $1MHz$ から 10^4MHz の広い電波帯が合理的な選択として残る.

電波領域では, 発信源は 2 つの背景放射と競合する. (1) 惑星の所属する星からの放射 (検出器の角度分解能は発信源と主星を区別できないものとする. 主星から 1 角度秒も離れていないだろうからである); (2) 視線方向に沿っての銀河の放射.

これら背景放射の周波数依存性を調べよう. 静かな太陽と同様な星の放出するパワーは, 距離 R(メートル単位) において, 次のような流量である.

$$10^{-15}f^2/R^2 \quad Wm^{-2}Hz^{-1}$$

この流量が直径 l_d の鏡で検出されるなら, 受け取ったパワーは, 流量に l_d^2 を乗じたものである.

銀河背景放射の多少とも等方的な成分は次式に等しい受信パワーを生じる.

$$\left(\frac{10^{-12.5}}{f}\right)\left(\frac{\lambda}{l_d}\right)(l_d)^2 \quad WHz^{-1}$$

ここで第一因子は銀河の連続スペクトルに起因し, 第二因子は角度分解能, 第三因子は検出器の面積である. だからみかけの (spurious) 背景放射の最小値はこの 2 つの項を等しいと置いて得られる. 最小は次の周波数のとおろにある.

$$f_{\min} \approx 10^4 \left(\frac{R}{l_d}\right)^{0.4} Hz.$$

$R = 10$ 光年 $= 10^{17}m$, $l_d = 10^2m$ とすれば, $f_{\min} \approx 10^{10}Hz$ となる. 発信源はこの広い極小領域で放射しているだろう.

どの周波数で見たらよいのか? 未知の周波数の弱い信号をスペクトルに沿って探すことは困難である. だが, 望ましい電波領域の中に, 唯一の客観的の周波数がある. これは宇宙の誰もが知っているはずの周波数である. すなわち, 有名な中性水素の $1420MHz(21\text{cm})$ の電波放射である. この周波数に敏感な受信器が電波天文学発展の初期に作られるであろうことが期待される. これが仮想的な発信者が期待することであり, 地球の現状はまさにこの期待を正当化する. したがって, $1420Mhz$ の近傍の探索が有望であると考えられる.

発信源のパワーへの要請

21cm 線近くの銀河背景放射の強さは, 空の $2/3$ の方向で,

$$\frac{dW_b}{dSd\Omega df} \approx 10^{-21.5} \quad Wm^{-2}ster^{-1}Hz^{-1}$$

である. 銀河面近くの方向では背景放射は最大で 40 倍ほどある. だから, はじめに銀河面から遠く離れた方向の近傍星を調べるのが経済的である.

発信源において直径 l_sm の鏡が使われるなら, わが検出器が銀河背景放射と同じ強さの信号を受け取るために発信者が出すべきパワーは以下のとおりである.

$$\begin{aligned}\frac{dW_s}{df} &= \frac{dW_b}{dSd\Omega df}\left(\frac{\lambda}{l_s}\right)^2\left(\frac{\lambda}{l_d}\right)R^2 \\ &= 10^{-24.2}\ R^2/l_s^2l_d^2 WHz^{-1}.\end{aligned}$$

ジョドレルバンク (Jodrell Bank) にあるような鏡 $(l = 80m)$ を発信者と受信者が使い, 距離が $R \simeq 10\ WHz^{-1}$ なら, 発信者に要求されるのは $10^{2.5}\ WHz^{-1}$ であり, これは現在の技術水準では重荷である. しかし, 2 つの鏡のサイズが, いま米国海軍研究所の計画している大きさの望遠鏡のもの $(l = 200m)$ なら, 必要とされるパワーは 40 分の 1 となり, われわれの限りある能力の範囲内である.

発信源は近くの太陽に似たすべての星にビームを向けていると仮定する. この種のビームを 100 個維持することは我々より進んだ社会にとってそれほどの重荷であるとは思えない. (一度検出してしまえば, 我々はただちにたくさんのビームを向けることになるだろう.) そのときは数十光年以内のどんな星からのビームをも見ることが期待できる.

信号の位置とバンド幅

銀河面外のすべての方向では21cm放射は一般的背景放射から突出していない. 銀河面から遠い方向の星の場合, この波長の近辺で探索すべきである. しかし, 見えない惑星の運動に起因する未知のドップラー変位があるので, 自然な原子波長から $\pm \sim 300kHz$ $(\pm 100km/s)$ 程度ずれている可能性がある. 銀河面に近づくと21cm線は強くなり, 発信源の周波数は, 太陽系から見ると自然な線の両そで近くまで動くだろう.

探索の継続期間に関しては, 受信器のバンド幅は重要でないように見える. 背景のゆらぎに関する通常のradiometer関係がここでも成り立つ. すなわち,

$$\frac{\Delta B}{B} \propto \sqrt{\frac{1}{\Delta f_d \cdot \tau}}.$$

ただし, Δf_d は検出器のバンド幅, τ は検出後の記録機器の時間定数である. 一方, 受信器が受け取る背景放射は

$$B = \frac{dW_b}{df}\Delta f_d \quad \text{and} \quad \tau \propto \frac{\Delta f_d}{(\Delta B)^2}$$

ΔB をある値に固定すれば, 信号が含まれると予想されるバンド F を探索するために必要な時間 T は, 検出器ののバンド幅 Δf_d に無関係に次式で与えられる.

$$T = \frac{F\tau}{\Delta f_d} \propto \frac{F}{(\Delta B)^2}.$$

もちろん, バンド幅を狭くとれば, $\Delta f_d \geq \Delta f_s$ として, 弱い信号を検出できる. 最初の試みとして, 21cm内で正規 (normal) にバンド幅 Δf_d を選ぶのが良さそうである. ただ積分時間 τ は普通より長くなる. 数個のバンドでそれぞれ数分または数時間の積分時間を使って周波数範囲 F をカバーすべきである.

信号の性質と可能な発信源

信号を検出することがどんな憶測よりも良い. 信号がpulse-modulatedであって, その速度は秒に比べて非常に速くも遅くもないと期待する. (On grounds of band-width and of rotations) メッセージは年の単位で続いていると思われる. とういのは数十年にわたって返事が来ないであろうからである. また長年にわたって同じ信号を繰り返すであろう. おそらく異なるタイプの信号も含むだろう. 人工的な信号であることを示すために, 信号のひとつは, たとえば小さな素数列のパルスを含んだり, 単純な代数和を含むだろう.

最初の試みは最も近い可能性のある星に向けるべきである. 15光年以内の星の中で, わが太陽と光度も年齢も近い星が7個ある. そのうち4個は背景放射の弱い方向にある. これらは $\tau\ Ceti, 0_2\ Eridani, \varepsilon\ Eridani$, および $\varepsilon\ Indi$ である. これらはたまたま南緯にある. 残りの3個は $\alpha\ Centauri, 70\ Ophiucus$ と $61\ Cyg$ は銀河面近くにあり, 強い背景放射の前面にある. 50光年以内にはスペクトル型の判っている適当な光度の星が100個ある. G0とK2の間の主系列矮星で実視等級が $+6$ より小さいものはすべて候補である.

読者はこれらの推論がSFの世界に属するもの思うかもしれない. 我々はむしろ, 上で行った議論によって星間信号の存在は我々のしっていることと合致しており, またもし信号が存在すればそれを検出する方法が手元にあることを示したかったのである. 星間通信を検出することの実際的および哲学的な深い重要性を否定する人は少ないだろう. だから信号を見分ける探

索はかなりの努力を割くに値すると我々は考える. 成功の確率を見積もることは難しい. だが探索しなければ成功の確率はゼロである.