

COBE とインフレーション説

COBE が有限なゆらぎを発見したことは、重力不安定による構造形成論の否定に歯止めをかけるとともに、インフレーション説に初めて証拠をもたらしたとされている。“よい理論”は正否が明確になる予言を持たねばならない。イ説にとって、既知の事実であった地平線問題は動機であり、予言は平坦性と古典化した真空量子ゆらぎの存在である。COBE はイ説に何をもちたらずかを論ずる。

本誌 8 月号に宇宙背景放射探索衛星 COBE による“ゆらぎ”発見が紹介された¹⁾。同じ頃、私は雑誌「科学」に当面は「素粒子的な膨張宇宙研究から一定の距離を置くことの必要性」を強調した²⁾。一方、COBE 論文には「ゆらぎスペクトルはインフレーション説の予言とコンシステントである(両立する)」という言明があり、1981 年の A. Guth 論文が引用してある。インフレーション説は素粒子宇宙論の最大の傑作であり、この説が実証されたのなら私の意見は的はずれとなる。しかしこの意見は COBE の発見を承知の上で書いており、この間の説明の必要を感じた。また本誌に掲載された先の解説もこの観点からみると違った印象を与える。

COBE でインフレーション説は“積極的な証拠”の可能性を初めて掴んだし“平坦モデルの検証を期待をもって見守る時期になった”が膨張宇宙研究の次の局面は天文的観測であると思う²⁾。

まず、今回の COBE でのスペクトルに関する部分は若干弱い言明であり、更なる検討が待たれる。またスペクトルは大規模構造に関わる小角のデータがなく、構造形成に絡む矛盾は残ったままである。今回のデータだけでゆらぎが Harrison-Zeldovich スペクトルで、構造形成の種が見つかったとはまだ断言できない。しかし、H-Z スペク

トルの“ゆらぎを種に構造形成を重力で説明するという正統的試みをもっと確信をもって追求すべき情勢に戻った”と思う²⁾。COBE は導き手不在の“混迷する”構造形成論の喧噪を鎮めた。

これらは具体的に検討すべきことで、この文章の主題ではない。主題は H-Z とイ説の関係、及び、“期待をもって見守”られる立場になったイ説とは何を指すのかという“線びき”である。

ここはイ説の研究史を書くのが目的ではない。ただ、イ説に肉薄していた佐藤勝彦氏やその他の人達の論文が何故 1981 年の Guth の論文と違うのかの理解が後の“線びき”と関係するのでこの際振り返ってみることを薦める。国際的な当該分野では周知のように、イ説は Guth によるとされており“肉薄した”同時期のいくつかの仕事にまで触れたレビューは余り多くないが、参考になるものもある^{3,4)}。以下ではそういう勉強がある程度前提にする。

H-Z スペクトルはイ説の前(1972 年)からある概念で、単一べきのスペクトルを持つゆらぎが一樣な FRW 宇宙モデルを破壊しないものとして規定される。そして新イ説が提出された直後の 1982 年に、ドジッター宇宙期で、スカラー場真空状態の量子ゆらぎが原因となって、再加熱後に古典的ゆらぎが発生し、それが H-Z スペクトルであることが示された(Guth-Pi, Hawking, Starobinsky, Bardeen-Steinhardt-Turner, など)。物理的には、地平線問題の説明、ドジッター宇宙でのホーキング放射、超地平線での線形ゆらぎのゲージ不変な取扱、がもたらした成果であった。ところが GUT 的に自然な真空ポテンシャルを仮定するとゆらぎの振幅が 1 のオーダーになり、 10^{-5} の振幅の説明には結合常数が 10^{-14} などと素粒子の基本法則としては“不自然である”ことも気づかれた。すなわちスペクトルの形では魅力ある発見をしたが同時に振幅は合わないという“興味ある失敗”も明らかになった。

しかしその後、この“魅力ある発見”をなんと

か活かすモデルを求めて右往左往が始まった。この領域での素粒子理論がまだ融通無解なことも手伝って勝手なアイデアが飛び交い重力理論の変更まで飛び出し議論百出となった。陽子崩壊の実験が予想どおりには出なかったことなども重なって素粒子宇宙論と膨張宇宙研究の間にあったそれまでの緊張感が急速に弛緩していった。私が「1984年の虚脱感」と言っているのはこの事態である。

さてCOBEが振幅 10^{-5} のH-Zスペクトルを疑いの余地なく検証したとしよう。次の問題はその物理的メカニズムである。イ説が解答の一端を掴んでいるのは確かだと思う。Guthのように 10^{-14} でどこが悪いと開き直るのも一つの見識であろう。超対称性GUTを支持する加速器実験のデータも出てきたし、ここは右往左往しないで頑張るのも手だ。またはイ説は過渡的でその利点をふくむ別のアイデアがあるのかも知れず、現象論的にH-Z型を導く要を考えてみるのも手だ。

なおCOBEのゆらぎの本誌解説で引用してある論文(K. Sato, 1981)にこれを関係さすのは誤解を産む。この論文で言及したのは非一様相転移にともなう古典的スカラー場エネルギーのゆらぎのことである。これは非線形だと言っていることから明白である。その後これらの非線形ゆらぎは散逸(衝突)しないことを確かめ、古イ説が一様宇宙を招来しないことを指摘し、さらにその性質を利用して佐藤(勝)・小玉・前田・佐々木の宇宙の多重発生なる奇抜な着想へと進展していく、一貫した流れの中にあつた。COBEで発見が云々されているゆらぎは1992年に提案されたスカラー場真空状態の量子ゆらぎを起源とするものである。もしこの説の一部が共通というなら他に多数の論文を挙げねばならない³⁾。

次にイ説の線びきである。例のGuth論文のサブタイトルは「地平線、平坦性問題へのある可能な解答」であり、その後の千以上の論文にもかかわらず、核心はこれプラス振幅、は別にして、ゆらぎがH-Z型であることの自然な説明である。

Guth論文の成功は、GUT相転移の考察で得た結果を動機にしつつも、具体的なメカニズムから一旦離れて宇宙モデル実現の観点で論点を整理した点にある。そして今日に到るも、マッチポンプ的でない内容はこの線を出していない。「マッチポンプ」とは自分で火つけて消して見せて手柄にする政治家愛用の方法で、イ説の論文にはその性格が多い。

イ説の検証可能で明解な予言は平坦性で、観測との関わりは当面これが焦点であろう。一様性(と小さいゆらぎ)の説明は地平線問題だけでは不十分であり、また量子宇宙を背景に考えると問題の存在自体不明となる可能性もある。地平線問題は、定常宇宙論まで含め、多くの人が論じたが、平坦性の論点はGuth論文に負う。

真空相転移で火の玉が励起されたというシナリオもイ説の魅力だ。しかし素粒子物理ではWS理論のヒッグス場の検証をこれからSSCでやるといふ。自然科学の実証性とはそこまで徹底している。このシナリオの検証もそういう実験の中で判定されるのであって、恒星構造論の程度まで進化するれば別だが、現在の初期宇宙論ではいくら力んでもしかたない。あくまでも素粒子「論」のパラダイムにのって議論しているのである。

最後に誤解のない様に付け加えておこうが、ここで“線びき”の外での研究は意味が無いなどといっているのではない。むしろ逆である。とくに理論研究などは線びき外でなければ大した意味が無いし、実証以外の理論物理上の動機もある。ただ膨張宇宙という実体との関連を語る際にはその距離を錯覚しないように注意がいる。

佐藤文隆(京大理)

参 考 文 献

- 1) 杉山 直, 1992, 天文月報, 85, 350.
- 2) 佐藤文隆, 1992, 科学(岩波書店), 62, 403.
- 3) R. H. Brandenberger, 1985, *Review of Modern Physics* 57, 1.
- 4) K. A. Olive, 1990, *Physics Report*, 190, No. 6.