【 19 】

氏名	上杉明（うえすぎ あきら）
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第55号
学位授与の日付	昭和37年12月18日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科宇宙物理学専攻
学位論文題目	**An Interpretation of Photon Diffusion Process** （光子拡散過程についての解釈）
論文調査委員	(主査) 教授 上野季夫　教授 友近　晋　教授 宮本正太郎　教授 清水　彊

論文内容の要旨

輻射輸達積分方程式の厳密解を求める方法は，二つに大別され，一つは局所的方法であり，他は全体的方法である。前者は直接的解法であり，Wiener-Hopf のラプラス変換法およびガウス数値積分法はこれに属する。後者は，不変法の原理に基づいて，光子の拡散過程を全媒質において考えるものであり，Ambarzumian および Chandrasekhar の不変原理法はこれに属する。

両方法の中間段階として，Ambarzumian の方法があり，Busbridge はこれと Neumann 級数の理論とを結合して，複合演算法を提唱した。

他方 Sobolev は，上記の Ambarzumian の方法で得られた基礎方程式を確率論的に解釈し，不変原理法を用いて，光子の発射確率函数の微積分方程式を導出した。Ueno は，光子の多重散乱がマルコフ型確率過程であるとの考えのもとに，Chapman-Kolmogoroff の方程式から，上記の光子の発射確率函数の微積分方程式を求めた。

上記の確率論的方法によると，大気から拡散反射および透過する光の強度のみならず，大気内の任意の1点における光の強度も求められる。しかし，在来の理論では，大気の両境界面よりの光子の発射確立函数を使用するのであるが，これは解析的には正確であるけれども，現象論的にはすぐには納得できない不明瞭性が残されていた。

著者上杉明は，主論文において，非均質でかつ等方性散乱の平面平行な厚さ $(\zeta_1-\zeta_0)$ の大気を考え，この境界面上に外部から一定平行の光線束が入射したときの光子の多重散乱を数学的に厳密に取り扱ったのであるが，いままで輻射輸達論において考慮されなかった光子の後方散乱性を導入したのは彼の研究の大きい特色である。在来の理論によると，Milne の積分方程式は簡単な線型積分方程式ではあるが，後方散乱を考慮すると互いに結合した2個の積分方程式となる。たとえば，光学的深さ ζ で吸収された光子が深さ Z $(0\leq\zeta_0\leq Z<\zeta\leq\zeta_1)$ で表面 ζ_0 に向かって角 $\mathrm{Cos}^{-1}\mu\ (0<\mu\leq1)$ で発射されるときの発射確率函数 P $(\mu,Z,\zeta;\zeta_0,\zeta_1)$ は次式で与えられる：

$$p(\mu,z,\zeta;\zeta_0,\zeta_1) = \frac{1}{2}e^{-(\zeta-z)/\mu} + \frac{1}{2}\int_{\zeta_0}^{z} q\ (\mu,z,t;\zeta_0,\zeta_1)W(t)E_1(\zeta-t)\ dt + {}_{z}^{\zeta_1}\bigwedge\nolimits_{\zeta}\left\{p(\mu,z,t;\ \zeta_0,\zeta_1)\right\} \tag{1}$$

ここで，$E_1(\zeta)$ は第一種指数積分，$W(\zeta)$ は反射係数であり，かつ截形 Hopf 積分演算子 ${}_{\alpha}^{\beta}\bigwedge_{\zeta}$ は次式で与えられる。

$$ {}_{\alpha}^{\beta}\bigwedge\nolimits_{\zeta}\left\{(t)\right\} = \frac{1}{2}\int_{\alpha}^{\beta} f(t)W(t)E_1(|\zeta-t|)dt. \tag{2}$$

(1) 式右辺の第１項は吸収による項であり，第２項は (ζ_0, Z) 間中における後方散乱による寄与を示し，最終項は (Z, ζ_1) 間における前方散乱によるものである。もしZを ζ_0 に一致させると，在来の理論における基礎方程式に一致する。自由表面 ζ_0 より射出される光子の確率函数に対しては，後方散乱を考える必要がないからである。(1) 式から，適当な微分演算によって，発射確率函数の微積分方程式が得られるのであるが，これを使うと，深さZより自由表面 ζ_0 に向かって発射される光の強度 $I(Z,+\mu)$ $(0<\mu\leq 1)$ は次式で与えられる：

$$I(Z,+\mu) = \frac{F}{\mu}\left[\int_{\zeta_0}^{z} q(\mu,z,\zeta;\zeta_0,\zeta_1)e^{-(\zeta-\zeta_0)/\mu_0}W(\zeta)d\zeta + \int_{z}^{\zeta_1} p(\mu,z,\zeta;\zeta_0,\zeta_1)e^{-(\zeta-\zeta_0)/\mu_0}W(\zeta)d\zeta\right] \tag{3}$$

この (3) 式が求める結果の一つであるが，右辺の第１項は後方散乱，第２項は前方散乱に基づくものである。この式は現象論的によく理解できるものである。

若干の演算を経て (3) 式から得られる結果は，従来の理論によるものと一致する。すなわち，後方散乱は発射確率函数の積分方程式には明かに含まれるが，発射強度中には内在的にのみ認められるということになる。さらに，光の散乱および透過函数の函数論的諸関係がこの理論に基づいて新しく導出される可能性のあることは興味深いことである。

このようにして，著者は，媒質内の１点における光の強度を求めるために，後方散乱を考慮した場合の光の拡散過程論を確立したのであるが，従来の確率論的取り扱いにおいて現象論的に不明瞭であった点を明らかにしたことは，輻射輸達論の研究における大きい収穫といわなければならない。

参考論文その１においては，高温度星であるO型星の大気モデルを構成し，その境界条件をいろいろ変えて，大気の物理的構造を論じている。その２においては，前記の複合演算法を用いて，半無限・非均質大気における変調散乱の効果を計算し，またその３では，同じ方法を用いて，変調散乱による混合スペクトル線の強度を求め，いずれも新しい解を与えている。さらに，その４では変調散乱に対する積分方程式の Resolvent を論じてそれを与える方程式を誘導し，その５ではその１において用いた方法を拡張して，白色矮星の若干の大気モデルをつくり，その物理的構造を研究している。

論文審査の結果の要旨

輻射輸達理論は，近年発達してきたものであるが，その主流は Ambarzumian による不変法原理に基づくものである。この方法の特色は，散乱媒質たる平面平行な大気から自由境界面を通して発射される光の強度を研究の対象とするものであって，媒質内の任意の一点における光の強度は問題にせず，拡散反射お

よび透過による光線の強度を求めるのみである。

その後 Ambarzumian の方法から確率論的方法が発展してきたが，同様な方法論的立場に基づくので，媒質内の任意の一点における光の強度を求める際にも，その発射確率函数は，境界面より光子が発射される場合と同じ分布函数を用いていた。したがって，現象論的にみると不明瞭性が残されておったのであるが，著者は，後方散乱という確率概念を発射確率函数の積分方程式中に導入して，現象論的不明瞭さを除去するとともに，新しい若干の函数関係式を得ることに成功した。これは輻射輸達理論の今後の発展に寄与するところが大きい。

参考論文5編は，いずれも恒星大気内における輻射輸達理論における重要問題を取り扱い，それぞれ立派な成果をあげている。

よって，本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。