

複素点電荷による新しい原子モデルの提案

A new atomic model by Dual Essentialities of Electronic Pole

戸 上 良 弘

Yoshihiro Togami

Abstract

An electronic pole with dual essentialities generates spherical waves. An advancing wave and a backward wave make two types of spherical symmetric standing waves.

One of the standing wave means electric potential, and the other standing wave means current potential. Theirs standing waves make an atom. This atomic model named DEEP atomic model. DEEP means Dual Essentialities of Electronic Pole.

1. はじめに

1920年代には、光子、電子、陽子の3種類の素粒子しか知られていなかった。その後、原子核内には別の素粒子、中性子の存在が確認され、現在では多数の素粒子が発見されている。しかしながら、未だに原子の仕組み、特に原子核の構造については、分からないことの方が多い。このようにモデルが複雑になっていく現状は、地動説が受け入れられる前の、天動説が信じられていたときの状況と似ているように感じられる^[1]。

前著、「点電荷の複素ポテンシャル表現とその意味について」^[2] (1997) において、電気の基本素量である点電荷について一つの仮説を提案した。「同心球面対における共振回路」^[3] (1998) では、中心をともにする2つの球殻が球面対として共振回路を形成することを示し、その場合の共振周波数を求めた。原子についても同様のモデルが考えられることを示唆し、そして共振回路としての原子モデルを提案した。「球対称の電気振動場と複素点電荷」^[4] (1999) では、準動的な電気振動場の方程式を示し、電荷に対して電流荷の存在を示した。

今回の論文は、前著3部作の内容をふまえ、量子論的な観点を加えて新しい原子モデル (DEEP 原子モデル) の提案をするものである。このモデルは、ひとつの仮説と、より少ないパラメータで、より多くのことを説明できることを目標にして構築したものである。

2. 複素点電荷の波動

「点電荷の複素ポテンシャル表現とその意味について」^[2]において、電気の基本素量である点電荷について一つの仮説を提案した。すなわち、電荷そのものがプラスおよびマイナスに周期的に変化する点電荷の存在を仮定するというものである。この電荷の変化を表す角周波数を ω 、時間変数を t とすると、その電荷は式 (1) で表される。この点電荷は、電荷が複素数で表されることから複素点電荷と呼んでもよいが、単に電荷を複素化しただけということではない。式 (1) で表現されるように、電荷そのものが「陽性と陰性」、「粒子性と波動性」の2つの基本的な性質をもつことから、Dual Essentialities of Electric Pole の頭文字をとって DEEP と名付けた^[2]。

$$q(t) = e^{i\omega t} \quad (1)$$

点電荷 q が作るポテンシャルは中心からの距離を r として式 (2) のように表される。この式は定性的なことを考察するため、定数項を省いた規格化されたポテンシャルである。以降同様に規格化したポテンシャルを用いることにする。

$$V = \frac{e^{i\omega t}}{r} = \frac{\cos \omega t}{r} + i \frac{\sin \omega t}{r} \quad (2)$$

電荷 $q(t)$ の変化によってポテンシャルが変化する。しかしその変化の度合い ω が、波の進む速度 c と比べて無視できないほど速くなった場合、位相、すなわち変化の遅れを考慮する必要がある。中心からの距離 r におけるポテンシャルは、原点での電荷の変化に比べて、波動が距離 r を進むのにかかる時間 r/c だけ遅れて変化することになる。この遅れを考慮すると、 r における見かけ上の電荷は式 (3a) で表される。

$$q(r, t) = e^{i\omega(t-r/c)} \quad (3a)$$

式 (3a) を波数 k を用いて表すと、 $k = \omega/c$ であるから、式 (3b) のように表せる。

$$q(r, t) = e^{i(\omega t - kr)} \quad (3b)$$

このように位相の遅れを考慮した場合の、複素点電荷 (DEEP) が作るポテンシャル $\Phi(r, t)$ は、式 (4) のように表せる。

$$\Phi(r, t) = \frac{e^{i(\omega t - kr)}}{r} = \frac{\cos(\omega t - kr)}{r} + i \frac{\sin(\omega t - kr)}{r} \quad (4)$$

この波動は振幅が複素数で表される。実数部分を $V(r, t)$ と表し、虚数部分を $I(r, t)$ と表すと、式 (4) は、式 (6) のように表される。

$V(r, t)$ と $I(r, t)$ は、位相が90度異なり、交流回路における電圧と電流の関係と相似である。 $V(r, t)$ が電荷によって作られる電位ポテンシャルとすれば、 $I(r, t)$ は電流荷による電流ポテン

$$V(r,t) = \frac{\cos(\omega t - kr)}{r} \tag{5a}$$

$$I(r,t) = \frac{\sin(\omega t - kr)}{r} \tag{5b}$$

$$\Phi(r,t) = V(r,t) + iI(r,t) \tag{6}$$

シャルとみなすことができる。すなわち、DEEP モデルでは、電荷の存在だけでなく、電流荷と呼びたいものの存在を要求している^[4]。

図1は、複素点電荷 DEEP の電位ポテンシャル波動を示している。また図2は、位相と電位ポテンシャルの関係を図示したものである。

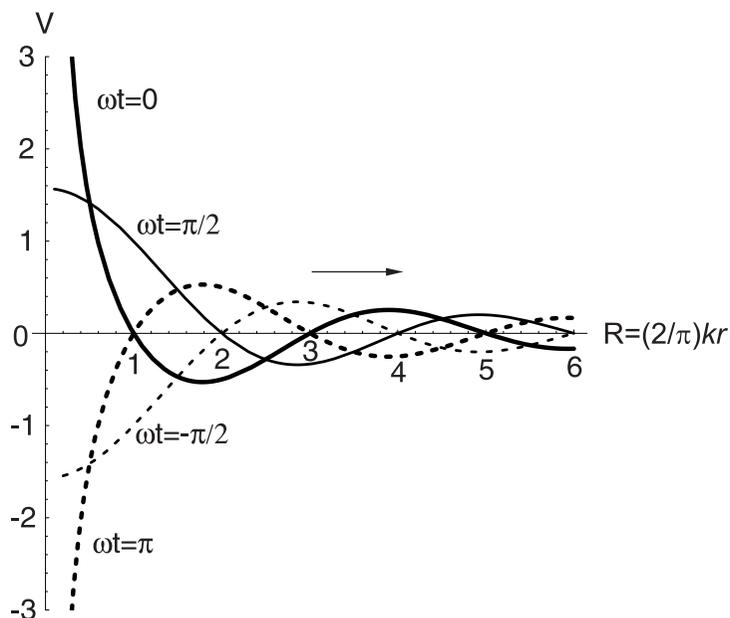


図1 複素点電荷のポテンシャル波動（後進波）

Fig. 1. Potential wave of an electric pole with dual essentialities. (Backward wave)

図3はDEEPモデルの鳥瞰図である。ちょうどこのコマのようなポテンシャルを角速度 ω で回転させたようなものである。渦上のポテンシャル波動が外側に広がっていく現象をイメージすることができる。

しかし、そのような状態を認識することはきわめて困難であることも同時に分かる。なぜなら、

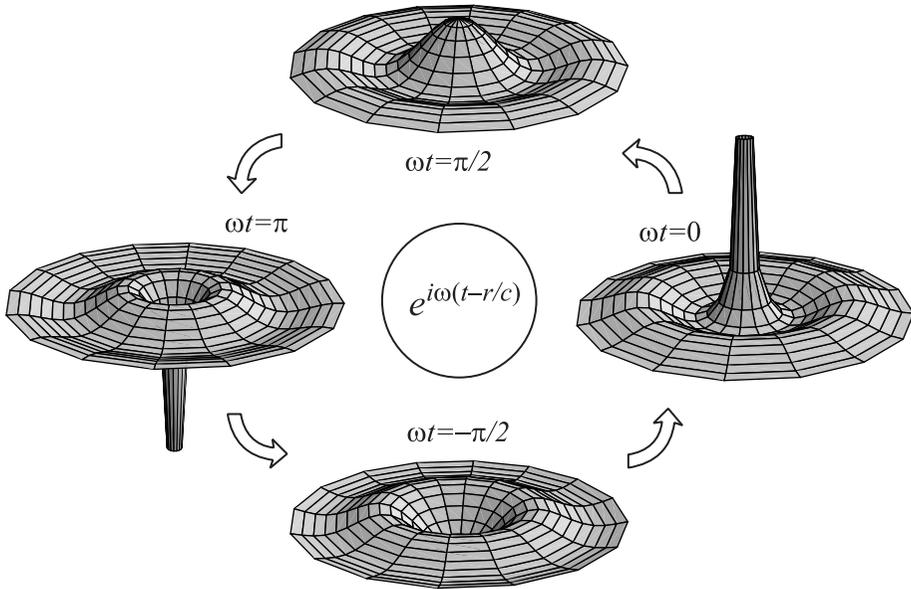


図2 複素点電荷の位相変化

Fig. 2. Phase shift of an electric pole with dual essentialities.

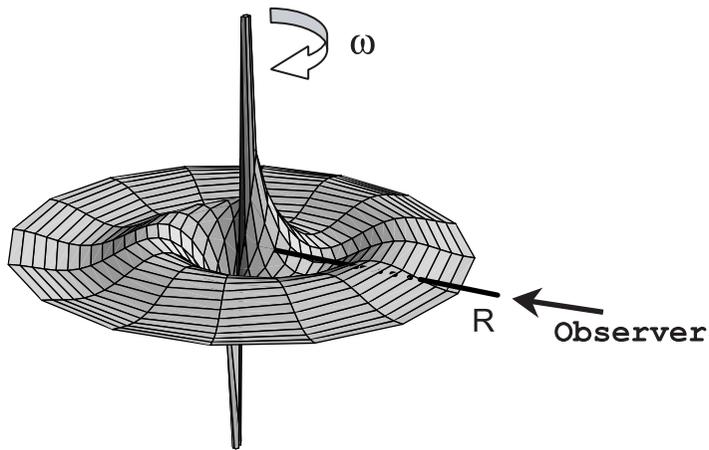


図3 DEEP モデル鳥瞰図

Fig. 3. A bird's-eye view of DEEP (=Dual Essentialities of Electric Pole).

観測者は、実数軸上の遠方から、原点を顕微鏡で覗いて観測しているのであって、観測されるのは実数上の限られた現象だけだからである。

3. 球面波

〈3. 1〉後進波と先進波

水面に石を落とすと、中心から外側に向かって波紋が広がっていく現象を見ることができる。水面は、2次元と見なせるが、この現象を3次元空間で考えたものが、球面波である。

球面波の波動は、中心からの距離 r の関数として表され、式 (7) のような波動方程式で表されることが知られている^[5]。

$$\Phi = \frac{f(t-r/c)}{r} + \frac{g(t+r/c)}{r} \quad (7)$$

ところで、式 (7) の両辺に、 r を掛け式 (8) のように表してみる。

$$r\Phi = f(t-r/c) + g(t+r/c) \quad (8)$$

式 (8) の右辺は平面波の波動方程式そのものである。球面波は $r=0$ すなわち原点での扱いがいつも問題となる。定性的な考察をするにあたり、平面波と球面波を対応させて考察していく。式 (7) および式 (8) の第一項は、 r の大きい方に向かって速さ c で進む波を示している。 $r=0$ で起きた変化が、距離 r のところに変化を及ぼすのは、 r/c の時間がたってからである。変化に対して後れて伝わる波であるから後進波 (backward wave) と呼ばれている。式 (7) および式 (8) の第二項は、 r の大きい方から r の小さい方に向かって進む波動であり、先進波 (advancing wave) と呼ばれる。

平面波の場合とはくに問題はない。球面波の場合、式 (7) の第二項で表される波動は、半径 r の大きい方から原点に向かう波動を表す。このような波動が可能であるかである。ファインマン物理学 (電磁気学編257ページ)^[5] に「マクスウェル方程式はどちらの可能性も許すけれども、われわれは—経験をもとにして—外向きの波の解だけが“物理的に意味がある”という付加事実を加える」とある。たしかに波動を起こす原因が中心にあるのだから、それはもっともな仮定である。

しかし、遠方から中心に向かって進む波というのも、単に考えにくいということだけで、どちらも可能な波動である。例えば、コップに満たした水面にさらに一滴の水を落とす。するとコップの壁面で波が反射して、波が中心に集まってきて、中心に水滴の跳ね上がらせるという現象を見ることがある。このように、ある大きさの球面で波が反射したとすれば、その反射波は、外側から内側に向かって進む波となるはずである。先進波は原点から見たら因果律に反しているように見えるが、球面の反射が原因であるなら因果律にも反しない。

〈3. 2〉球面波における定在波

図4のように、ギター弦やパイプオルガンなどの気柱に定在波ができて固有の振動モードを

持つことが知られている。ギター の 弦 の 場 合 は、両 端 が 固 定 さ れ て い る の で、固 定 端 と な る よ う な 振 動 で あ る。気 柱 に お け る 空 気 振 動 の 場 合 は、パ イ プ が あ い て い る 場 合 は 開 放 端 と な る。一 般 に 定 在 波 の 振 幅 が ゼ ロ に な る 部 分 を 節 と 呼 び、振 幅 が 最 大 と な る 部 分 を 腹 と 呼 ぶ。こ の よ う な 定 在 波 は、互 い に 逆 方 向 に 向 か う 波 の 合 成 で 作 る こ と が で き る。

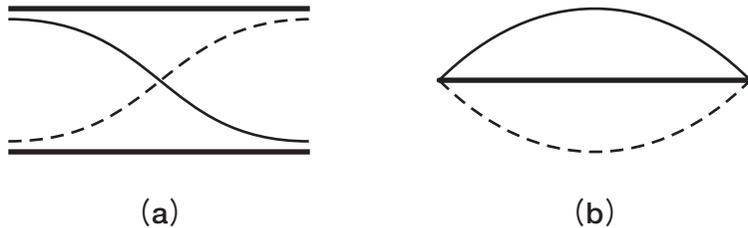


図 4 定在波 (a) 開放端 (b) 固定端
Fig. 4. Standing wave. (a) Open end (b) Closed end

平面波の後進波と先進波は、どちらを正の向きにするかという座標の取り方だけの問題で、両者に本質的な違いは感じられない。一方、球面波における後進波と先進波は、片方しか存在しないと思わせてきたほど違いが感じられるし、イメージと用語にも乖離が感じられる。そこで、場合によって球面波における後進波を「遠心波 (centrifugal wave)」、球面波における先進波を「求心波 (centripetal wave)」と呼ぶことにする。

球面波には、外向きの球面波 (遠心波) と内向きの球面波 (求心波) がある。両者の合成波によって定在波が作られる場合を考える。この場合境界条件をどのように考えるかがポイントである。球面波の場合、もっとも重要な境界条件は、中心である原点 (ゼロポイント) そのものであるろう。

$f(r, t)$ を式 (9)、 $g(r, t)$ を式 (10) のようにおくと、 $f(r, t)$ は平面後進波、 $g(r, t)$ は平面先進波を表す。

$$f(r, t) = e^{i(\omega t - kr)} \tag{9}$$

$$g(r, t) = e^{i(\omega t + kr)} \tag{10}$$

〈 3. 3 〉 球面定在波における中心開放端

まず平面波として式 (11) のように原点の振幅が 2 倍になるように 2 つの波動を足し合わせてみる。

$$f(0,t) + g(0,t) = e^{i(\omega t - k0)} + e^{i(\omega t + k0)} = 2e^{i\omega t} \quad (11)$$

式 (11) の境界条件を満たすように、互いに逆向きの波動の和を取った場合、式 (12) のように $r=0$ で開放端となるような平面定在波を得ることができる。

$$f(r,t) + g(r,t) = e^{i(\omega t - kr)} + e^{i(\omega t + kr)} = 2(\cos kr)e^{i\omega t} \quad (12)$$

次に、球面波における定在波を考える。式 (7) と式 (8) のように球面波と平面波との関係から式 (13) のように置くと、式 (14) のような球面定在波を得ることができる。この定在波は原点である中心が開放端と見なせる球面定在波である。

$$rV(r,t) = f(r,t) + g(r,t) \quad (13)$$

$$V(r,t) = \frac{2(\cos kr)e^{i\omega t}}{r} \quad (14)$$

式 (14) の意味を考えてみると、式 (1) で表される電荷に、定在波による振動が加わったポテンシャルと見ることができる。電荷によるポテンシャルであるから、電位ポテンシャルと見なすことができる。あるいは電荷として観測されうる可能性を示すポテンシャルという意味から、場合によっては電荷ポテンシャルと表現した方がよいかもしれない。中心開放端は原子核として観測されると考えられるが、原子核の中でも電荷をもった存在である、陽子として観測されるものと思われる。なお、中心が定在波の腹となることで振幅は2倍となり、見かけ上電荷が2倍に増えたように見える。

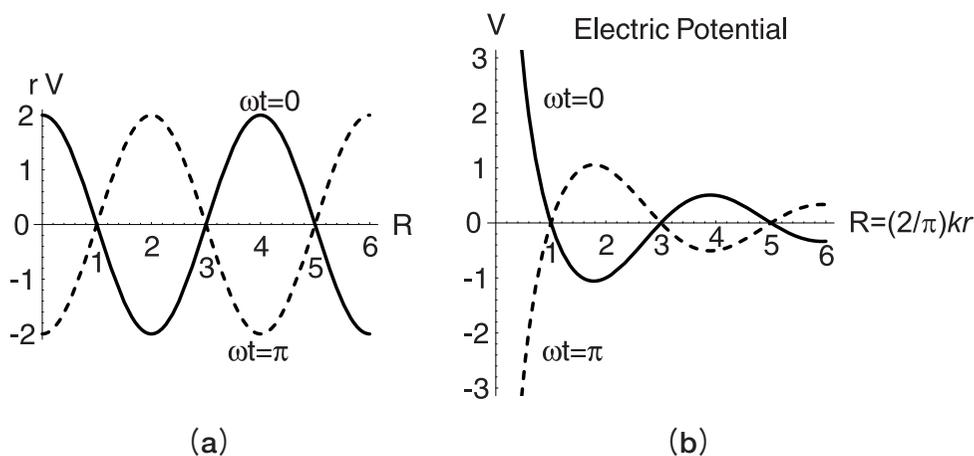


図5 開放端をもつ定在波 (a) 平面波 (b) 球面波
 Fig. 5. Standing wave with open end. (a) Plane wave. (b) Spherical wave.

図5 (b) は、原点である中心が腹、すなわち中心開放端となる場合の球面定在波（電位ポテンシャル）を示している。

〈3. 4〉球面定在波における中心固定端

まず平面波として、式 (15) のように原点での振幅がゼロになるように2つの波動の差をとってみる。

$$f(0,t) - g(0,t) = e^{i(\omega t - k0)} - e^{i(\omega t + k0)} = 0 \quad (15)$$

この境界条件を保ちながら式 (9) から式 (10) を引くと、式 (16) のように原点が節となる定在波が合成される。なお、虚数の係数は、位相のずれとして考えている。

$$\begin{aligned} f(r,t) - g(r,t) &= e^{i(\omega t - kr)} - e^{i(\omega t + kr)} \\ &= -2i(\sin kr)e^{i\omega t} = 2(\sin kr)e^{i(\omega t - \pi/2)} \end{aligned} \quad (16)$$

次に球面波の場合を考える。式 (17) のように置き、球面波を作ると、式 (18) のような中心が固定端となる球面定在波を得ることができる。

$$rI(r,t) = f(r,t) - g(r,t) \quad (17)$$

$$I(r,t) = \frac{2(\sin kr)e^{i(\omega t - \pi/2)}}{r} \quad (18)$$

式の意味を考えてみる。まず式 (16) で後進波と先進波の差をとった。両者を方向をもった流れの波動と見た場合、原点から流出する正方向の流れと、原点に流入する逆方向の流れの和がゼロとなる境界条件を満たした定在波である。これは流れの連続性を示している。一方、式 (18) の球面波の場合、中心における境界条件は、平面波のように必ずしも常にゼロとなるわけではない。位相によってはゼロでない有限の値を持つ。逆に、ゼロにならない場合があるというのは、流れの連続性から考えると、中心において何がしかの流れの“源”の存在を示している。

中心から放射される遠心波と中心に向かう求心波をマクロ的に見れば、両者の波動は、電流と電束電流（変位電流）のことと考えられる^[4]。よって中心に存在する“源”は電流源として働いていると考えられ、このことは原点において電流荷の存在を示している。以上より、式 (18) は電流として観測される可能性をもつ、電流ポテンシャルと呼ぶのが相応しいであろう。

図6 (b) は、原点である中心が節、すなわち中心固定端となる場合の球面定在波（電流ポテンシャル）を示している。

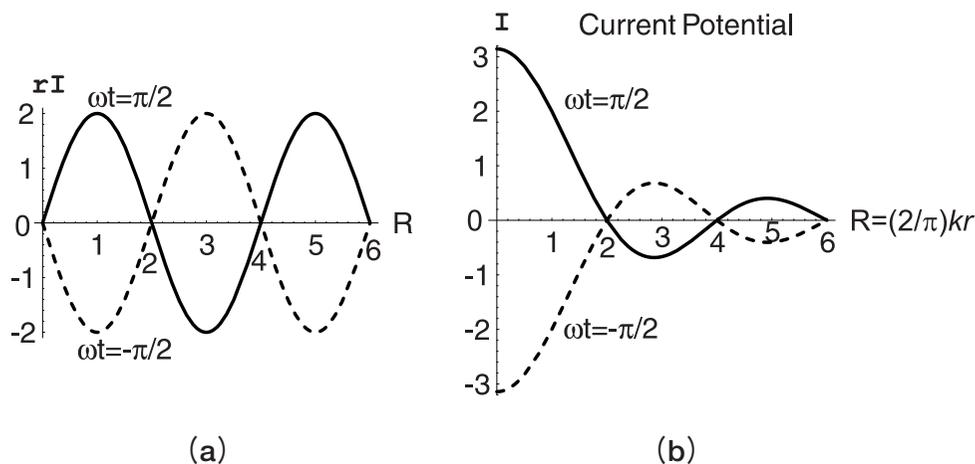


図6 固定端をもつ定在波 (a) 平面波 (b) 球面波
 Fig. 6. Standing wave with closed end. (a) Plane wave. (b) Spherical wave.

〈3. 5〉 エネルギー準位

原点からの距離 r を波数 k を使って規格化する。

$$R = \frac{2}{\pi} kr \tag{19}$$

このように規格化すると、節、または腹が現れる位置を、原点から順に、整数値で表すことができる。原点が球面波を反射する一つの境界になるが、もうひとつの境界は外側の球面である。遠心波（後進波）が、球面のどこで折り返され求心波（先進波）になるかである。球面定在波の節や腹の位置は、表1のようになる。

表1 球面定在波の節と腹の位置関係

Table 1. Positions of nodes and loops in the spherical standing wave.

	電位ポテンシャル定在波	電流ポテンシャル定在波
$R = 0$ (center)	開放端 (open end)	固定端 (closed end)
$R = \text{偶数}$ (even)	腹 (loop)	節 (node)
$R = \text{奇数}$ (odd)	節 (node)	腹 (loop)

波動が活性化されると、球面波の折り返し点が、外側の節、または腹に移っていくものと考えられる。これがエネルギー準位に相当する。Rは整数値しか取らないので、エネルギーは飛び飛びの値をとることになる。

4. DEEP 原子モデル

式 (1) または式 (3) で表される点電荷が原子核を形成するという仮説で導かれるモデルを DEEP 原子モデルいう。

古典的な原子モデルでは、プラスの電荷を持つ原子核の周りをマイナスの電荷を持つ電子が

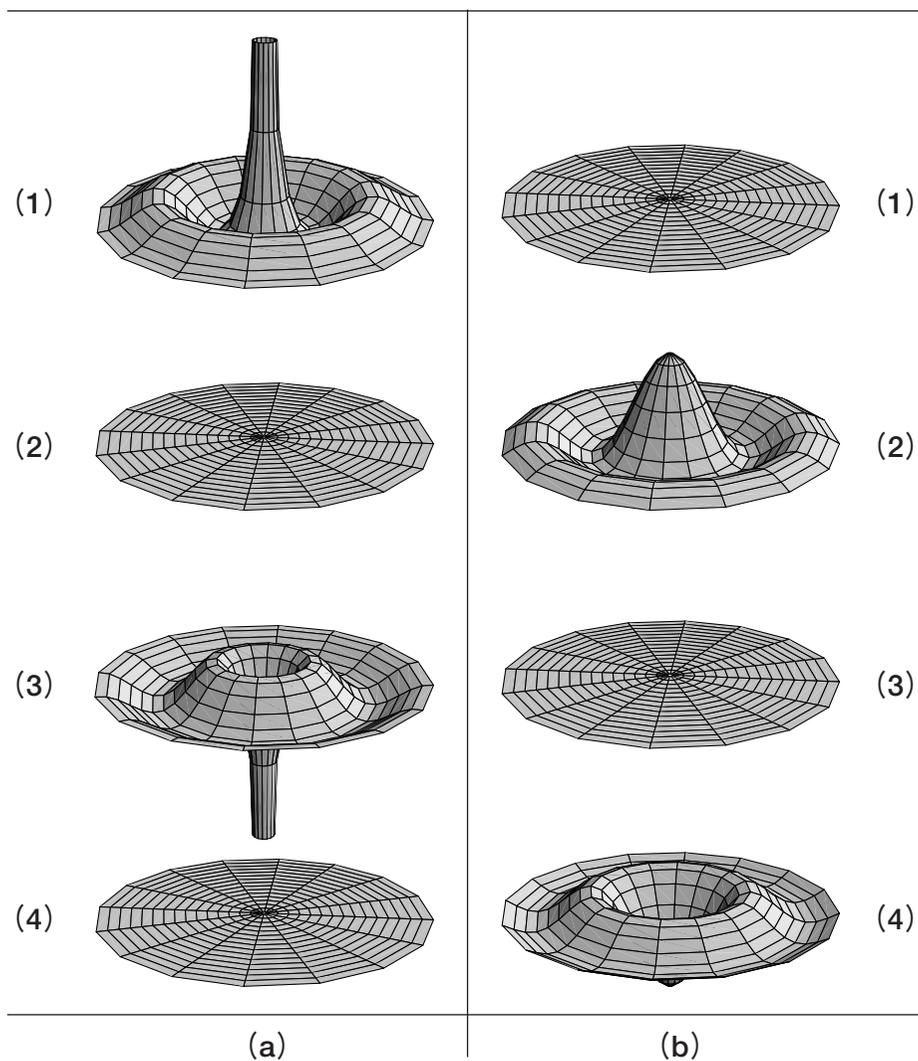


図7 ヘリウム原子の位相変化

(a) 電位ポテンシャル (b) 電流ポテンシャル

(1) 0° (2) 90° (3) 180° (4) -90°

Fig. 7. Phase shift of a Helium atom.

(a) Electric potential (b) Current potential

(1) 0 (2) $\pi/2$ (3) π (4) $-\pi/2$

回っている。電子が回転によって、電磁波を放射し、次第にエネルギーを失って原子核にぶつかってしまうはずであるのに、そうならないのは物理学でも長い間謎であった。ボーアは、電子が特定の軌道上しか回転できないと考え、量子条件を考え出した。しかし、なぜ、特定の軌道上を取るのか、その意味するところはやはり謎のままであった。DEEP 原子モデルによれば、振動の節が、エネルギー準位に相当し、エネルギー値が飛び飛びの値を取るのは、安定した振動モードを形成するために不可欠であることが無理なく理解される。

遠心波と求心波の“和”で合成される、電位ポテンシャルは、球の中心で定在波の腹となる部分で、振幅は最大となる。この電位ポテンシャルの中心開放端は、原子核、特に陽子として観測される。また遠心波と求心波の“差”で合成される、電流ポテンシャルは、球の中心で定在波の節となる。電荷としては観測されないが、電流荷として原子核を形成する中性子として観測される。

図7および図8は、原子番号2、質量数4のヘリウム原子を DEEP 原子モデルで表したものである。図7は3次元実空間を底面、ポテンシャルを高さとし、位相90度ごとに電位ポテンシャルと電流ポテンシャル表現したものである。電荷の状態と電流の状態が位相90度ごとに完全に入れ替わっていることが分かる。図8は、中心からの距離と位相を底面、ポテンシャルを高さで表現

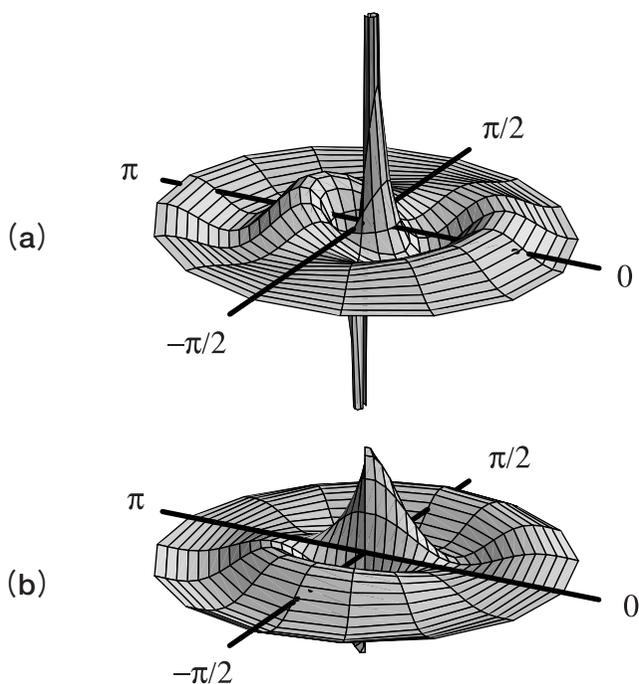


図8 DEEP 原子モデルによるヘリウム原子
 (a) 電位ポテンシャル (b) 電流ポテンシャル
 Fig. 8. A Helium atom by DEEP atomic model.
 (a) Electric potential (b) Current potential

したものである。DEEP 原子モデルによれば、ヘリウム原子は同心球面対共振回路⁽⁴⁾そのものであるといえ、単独で非常に安定している理由が定性的に説明可能である。

5. 重力に関する考察

重力は、天体のスケールで働く力であり、質量を持つものすべてに関係する力である。最も普遍的な力である一方、もっとも無視され続けてきた力でもある。それほど捉えようがなかった力といえる。アインシュタインにより、質量とエネルギーの等価性が指摘された。すなわち、エネルギーを持つものは質量をもち、また質量は重力を発生する。原子はエネルギーの塊であり、重力を生成する何かは、原子の中にその仕組みが備わっていると考えるのが自然である。

DEEP モデルでは、電荷とともに電流荷の存在も認めている。従来のモデルに存在しなかったもので、DEEP モデルに存在するものはこの電流荷である。そこで電流荷の性質について考察してみる。電荷の場合、プラス同士、マイナス同士の電荷は斥力が働くが、異極同士には引力が働く。一方、電流荷は、形式的には虚数の値をもつ電荷として考察することができる。虚数単位の積が負になることからわかるように、同種の電流荷は、通常引力として現れる。これは重力の性質と同様である。電荷に働く力は距離の2乗に反比例するという逆2乗の法則に従うが、電流荷も同様と考えられる。電流ポテンシャルは $1/r$ のオーダーで減衰する。重力のポテンシャルが $1/r$ のオーダーで減衰することと同様である。

原子内における電流ポテンシャルは、電荷ポテンシャルと90度位相が異なるので、実数として現れる電荷ポテンシャルを観測しているときは、虚数として現れる電流ポテンシャルは全く観測されない。これが見落とされてきた原因である。

重力の正体は、電流荷、もしくは、電流荷によって作られる電流ポテンシャル定在波であると筆者は考える。

6. まとめ

本論文の原子モデルにおける、唯一で最大の仮説は、周期的に電荷そのものが変化する複素点電荷 (DEEP) の存在である。この仮説を前提に、マクスウェル方程式や波動の理論を基に DEEP 原子モデルを構築した。電荷が原因で波動が起こると考えたが、定在波の開放端によって電荷が作られるという逆の見方もできる。また、既存の量子力学でも波動関数の振幅は本質的に複素数で表されることから、複素点電荷の存在を仮定すること自体、ごく自然なことに思われる。

この DEEP 原子モデルの特徴を最も良く表すのがヘリウム原子である。ここで、DEEP 原子モデルによって説明される原子の仕組みについてまとめておく。

(1) 原子の基本波動は球面波である。安定した原子では、球面定在波が形成されており、とくに

ヘリウム原子は同心球面対共振回路とみなすことができる。

- (2) 球面波には遠心波（後進波）と求心波（先進波）がある。遠心波と求心波の和または差で球面定在波が形成される。原点（中心）は球面定在波の開放端（腹）となる場合と、固定端（節）となる場合がある。
- (3) 原点が定在波の開放端となる場合、この定在波は電位ポテンシャル、あるいは電荷ポテンシャルとみなすことができる。この波動は電荷として観測され、とくに原点の開放端は電荷をもつ陽子として観測される。
- (4) 原点が定在波の固定端となる場合、原点での振幅は有限の値をとり、原点では電流荷としての性質をもつ。この定在波は電流の性質をもつので、電流ポテンシャルと呼ぶのが相応しい。また原点は電荷を持たない中性子として観測される。
- (5) 活性化してくると、原子が外側に向かって定在波の節や腹の数を増やしていくと考えられる。これは量子力学においてエネルギーが飛び飛びの値をとることの理由を表している。
- (6) 電子は、電荷として観測される場合と、電流として観測される場合がある。電荷と電流は位相が90度ずれて現れるので、同時に観測することができない。これが電子の位置と運動量を同時に測定することが原理的に不可能とする不確定性原理の意味であると考えられる。
- (7) 原子が作り出す定在波は、粗密波、あるいは球面に対して垂直方向に振動する縦波として存在する。従来のように横波の電磁波として捉えようとしても観測されない。
- (8) 電流ポテンシャルの波動は、すべてのものを縦的に結合する双方向の波動を作り出す可能性があり、重力波と呼びたいものの有力な候補と考えられる。

謝 辞

電気の基礎を大阪大学基礎工学部電気工学科において学ぶことができたことに感謝します。人間の認知能力について同大学大学院言語文化研究科で考察することができたことに感謝します。本論文をまとめる場を与えてくださった帝塚山学院大学人間文化学部へ感謝します。論文をまとめるにあたり内助を惜しまなかった家族に感謝します。

文 献

- [1] 戸上良弘、「科学とは何か ―科学を科学することによって―」、帝塚山学院短期大学 研究年報44、pp.157-184、1996。
- [2] 戸上良弘、「点電荷の複素ポテンシャル表現とその意味について」、帝塚山学院短期大学 研究年報45、pp.95-110、1997。
- [3] 戸上良弘、「同心球面対における共振回路」、帝塚山学院短期大学 研究年報46、pp.62-74、1998。
- [4] 戸上良弘、「球対称の電気振動場と複素点電荷」、帝塚山学院大学人間文化学部 研究年報 創刊号 pp.71-79、1999。
- [5] ファインマン、レイトン、サイズ、「ファインマン物理学 III・電磁気学」、岩波書店、1969。