

縦波の式を記述する際の留意点

マクスウエルの方程式から4元ポテンシャルを導出する場合、互いに独立した波動方程式になるのはローレンツゲージのときのみである。

しかしポテンシャルが電磁現象の原因であるとするならば、互いのポテンシャルはゲージ変換に関係なく独立であってしかるべきである。

一般に知られている誘電率と透磁率は横波に関する量であり、場の時間変動率が力線に沿ってあらゆる点で同位相となる場合に適用できるものである。

この時、空間を連続弾性体に例えるならば、弾性係数 C_{11}, C_{22}, C_{33} は誘電率および透磁率に寄与していないと考えられる。

縦波を論ずる場合、想定した媒質は圧縮伸張の歪を起こすわけであるから、誘電率、透磁率は C_{11}, C_{22}, C_{33} の寄与がある。しかして当誘電率および透磁率は横波のそれとは異なる可能性がある。

ポテンシャルの波動方程式を決定する伝搬速度は一般に誘電率、透磁率で表現されるが、空間を弾性体と考えた場合、密度および弾性係数で表現するほうが直接的である。

このとき、弾性体に例えた空間は個体である必要はない。流体であっても圧電性の粒子がちりばめられた場合や、スピン波の様なものを想定すれば横波も伝搬できるであろう。

波動方程式をローレンツ条件に合わせた場合、個体中の4元ポテンシャルはローレンツ変換を考えることに困難があるが、流体中の4元ポテンシャルはローレンツ群に属するかもしれない。

以上の検討を数式により検証し、肯定的な結論が出るならば、独立した4元ポテンシャルの波動方程式から求めたマクスウエルの方程式（付加項がついている）について実験的に検証してみる。

付加項が0以外の値を持つのは、4元ポテンシャルが従来のゲージ任意性の枠組みの外にずれたときである。縦波の速度が一般に知られている光速とは異なっても、ベクトルポテンシャルが支配的な通常の電磁現象からは観測しにくい量である可能性が強い。しかし、例えば振動するダイポールの両極の延長線上などでは付加項の影響が顕著になることが予想される。また、電磁気の高電圧現象において顕著に観測されるかもしれない。

高電圧現象研究は、進歩していない分、テーマはまだ多く残っているように思われる。特に高周波、パルス分野においてである。

場の伝搬遅延について思うこと

伝搬遅延についてローレンツ変換から得られる電磁場は伝搬遅延の効果を考慮していないのであるが、リエナール・ヴィーヘルトのポテンシャルから導出した電磁場は遅延の効果も含まれており、作用と反作用の時間的ずれが定量的に計算できる。等速運動する粒子の衝突、粒子同士のすれ違いを検討するならば作用と反作用の力積にズレが生じるか否かを知ることができる。

電気力学では質量を持った電荷の運動量をローレンツ変換の対象とするとき困難が生じている。電磁運動量に意味を与える場合、これが定義された背景となっている条件を考慮する必要がある。電磁波の放射圧はポインティングベクトルから計算されるが、縦波が荷電粒子に与える圧力は、現行の電磁運動量で表現できないようである。

備考：

法則が導かれた時に背景になっている暗黙の条件を見逃してはならない。

熱力学の第2法則が導かれた時に、粒子がランダムに運動しておりそれらを個別に制御しないという条件が前提であった。この系に重力や電界などの場が印加された場合、第2法則を適用することはできない。

別の例として、電気抵抗の熱雑音を電力として取り出した場合、抵抗中の電子の熱振動は低減させられ結果的に温度の低下を招くことになるだろう。あるいは、熱雑音の原因である電子の運動を逆位相の電場を加えて抑制すれば、電気抵抗が低下する効果が現れるだろう。

エネルギーは波動の形態をとって伝搬するという概念は波源近傍では成立しない。

ソレノイドに電流を流した場合、磁気エネルギーが周囲をとりまくが、これは過渡現象時に入力された電気エネルギーが磁気エネルギーに変換されたものである。次に、電流を0に戻す際の過渡現象で、磁気エネルギーは回収され、電気エネルギーに戻されるという解釈が一般にされている。しかし、ソレノイドが発する遅延ポテンシャルの波動はいかなる過渡現象でも波源から遠ざかる方向に伝搬するのであるから、一旦外に出たエネルギーが中心に向かうということに不条理を感じる。

また、ダイポールアンテナ近傍のエネルギー流はポインティングベクトルと抜山モデルとでは様相が異なる。

このことは、エネルギーを流れとして定義することに誤りがあることを示唆している。真の解釈は波動の形態を取って伝搬するものは情報であり、これが空間の各点に時事刻々変化するエネルギーを励起すると考えることができる。

エネルギーは流れではなく、生成消滅するだけであり、この空間的に連続して起こる現象が波のように見えるだけであろう。このように考えないと縦波の振る舞いに納得できる説明を与えることができない。縦波の作用にポインティングベクトルが適用できないのはこのような理由による。

縦波の伝搬速度について思うこと

回路の中に特性を極端に変えるようなパラメータが存在すると、マクスウェルの方程式が安定した解を与えない場合がある。このような場合、今まで見えなかった別の法則が現れる場合がある。例えば1ターンコイルのインダクタンスは電線の太さに極めて敏感である。線を限りなく細くするとたった1ターンでもインダクタンスは無限大に漸近する。しかし、これは数学上の解であって、現実には無限大をくい止めるなにかがそこにあるような気がする。

アクティブな現象に関する実例として、電線をサージが伝搬するとき電線のインピーダンスが理論値と実測値で全然違う。電気学会誌1995年Vol.115-B P.521ではこの問題について、満足な理論値を得るにはマクスウェルの方程式から得られるポテンシャルの式を修正しなければならないという結論を導いている。なぜこのような結論に至ったかは、マクスウェルの方程式を出発点とすることに誤りがあるように思える。通常の電磁現象ではスカラーポテンシャルの伝搬速度がほとんど問題にならないので、クーロンゲージでもローレンツゲージでも同じ解が得られるが、サージを扱う場合、スカラーポテンシャルの伝搬遅延が顕著に効いてくるので、この伝搬速度が光速でないことを仮定しなければつじつまが合わない場合がある。

サージ伝搬の正しい解を得るために、従来の電磁基礎方程式がそのままでは使えないと結論されているので、あえて方程式の変更を提案するならば、物質中の音波の方程式と同様に、まず伝搬媒質の定義から出発してみてもどうだろうか。そこに介在するパラメータを計測すると今まで見えなかった空間の性質に気付く可能性がある。光の速度は何度も計測されているが、ベクトルポテンシャルやスカラーポテンシャルの伝搬速度を測定したというレポートは見たことがない。相対性理論と整合させるためにローレンツゲージを適用する限り、両ポテンシャルの伝搬速度は同じ速度（光速）になってしまうのだが、現実はどうなのだろうか？

音波の世界ではスカラーポテンシャルとベクトルポテンシャルの波動方程式は独立しており、それぞれ異なる伝搬速度を持っている。理論的には一様媒質中でスカラーポテンシャルの伝搬速度を v_L 、ベクトルポテンシャルの伝搬速度を v_s とすると

$$v_L \geq 2 v_s$$

という不等式がいかなる場合でも成り立つ。経験的には物質中の音波においては v_L は v_s の約2倍の値をとることが知られている。1950年代のアングラ情報によると電磁界における v_L は光速 v_s の2.02倍であるということであるが、上式を満たしているので嘘ではないように思える。

試しに、媒質の定義から出発して電磁基礎方程式を導いたところ、現行のマクスウェルの方程式に通常ではあまり寄与しない積分項が付加されることがわかった。付加項が大きく寄与する場合を想定して実験してみれば、隠れたパラメータを発見できるかもしれない。