18p-C1-1

非放射場と放射場を対等に扱う単一感受率による光学の理論 III

Theory of the Single Susceptibility equally associated with Non-radiative and Radiative Fields in Optics III

山梨大院医学工学総合　坂野　斎
Univ. of Yamanashi　I. Banno
E-mail: banno@yamanashi.ac.jp

ナノ構造の光近接場の系（図１）など，対称性が低い（カイラリティのある）系を誘電率・透磁率の２つの感受率によって記述するのは不適切で，単一感受率が必須となることが張により示されている [1]．また，近接場光学で大切な非放射場の物理的描像は明確ではない．本研究の目的は，誘電率・透磁率の代替となる単一感受率をつくり，近接場光学の実験に供し非放射場の理解をすすめることである．本研究では，非放射場・放射場をそれぞれスカラーポテンシャル・ベクトルポテンシャル（SP・VP）と見なし，これらを対等に扱う．2013 年 9 月の講演会 (18a-C13-1；本発表と同タイトル I) では，SP・VP を原因とし誘導電荷密度・誘導電流密度を結果として関係づける 4 元の単一感受率を定義した．2014 年 3 月の講演会 (17p-F6-5；同タイトル II) ではこの単一感受率に微視的表式を与え，電荷保存則とゲージ不変性を満たすことを検証した．

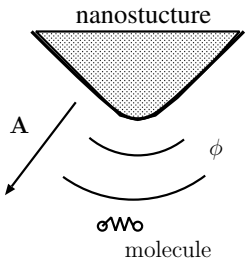

図 1: Nanostructure yields non-radiative field, $\phi(\mathbf{r},t)$ and radiative field, $\mathbf{A}(\mathbf{r},t)$; these fields affect the neighboring molecule in different manners.

微視的表式は理論の道具であり近接場光学の実験に直接は役立たない．そこで，本発表では，現象論的な表式を 4 元の線型・非線型の単一感受率に与えることを試みる．線型・非線型の単一感受率 $\chi^{\mu}{}_{\mu_1\cdots}(x,x_1,\cdots)$ は結果（誘導電荷密度・誘導電流密度）の座標 x での 4 元発散で表される電荷保存則：$\partial_\mu\chi^{\mu}{}_{\mu_1\cdots}(x,x_1,\cdots)=0$ と原因（SP・VP）の座標 x_1 の 4 元発散で表されるゲージ不変性：$\partial^{\mu_1}\chi^{\mu}{}_{\mu_1\cdots}(x,x_1,\cdots)=0$ を満たすべきである [2]．そのためには単一感受率がポテンシャル $\kappa^{\zeta}{}_{\zeta_1\cdots}(x,x_1,\cdots)$ から次のように導かれればよい：

$$\chi^{\mu}{}_{\mu_1\cdots}(x,x_1,\cdots)=(\delta^{\mu}{}_{\zeta}\Box-\partial^{\mu}\partial_{\zeta})(\delta_{\mu_1}^{\zeta_1}\Box_1-\partial_{\mu_1}\partial^{\zeta_1})\cdots\kappa^{\zeta}{}_{\zeta_1\cdots}(x,x_1,\cdots). \tag{1}$$

テンソル $\kappa^{\zeta}{}_{\zeta_1\cdots}(x,x_1,\cdots)$ が本質自由度であり $\chi^{\mu}{}_{\mu_1\cdots}(x,x_1,\cdots)$ に比べて自由度がおちていないが前にかかる微分演算子のおかげで感受率は自動的に電荷保存則とゲージ不変性を満たす．Eq.(1) をもとにいくつかのパラメータをふくむ現象論的な単一感受率の表式を探索する．将来は，前回導いた微視的表式を反映したものであって，別の先行研究 [3] で導いたエッジ特有の２次の非線型非放射場，カスプ特有の３次の非線型非放射場が考慮されたものを目指す．

謝辞：議論をして下さった張紀久夫大阪大学名誉教授、東京大学大津研究室の皆さまに感謝いたします。本研究は JSPS 科研費 25610071 (挑戦的萌芽研究）の助成を受けています。

[1] Kikuo Cho, (a) J. Phys. Condens. Matter **20** 175202 (2008); (b) *Reconstruction of Macroscopic Maxwell Equations* (Springer,2010).
[2] 4 元表示の諸量は以下のとおり (次元を整合する便宜のため光速 c を使う) : $A^{\mu}=(\phi,c\boldsymbol{A})$, $j^{\mu}=(c\rho,\boldsymbol{j})$, $\partial^{\mu}=(\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t},-\nabla)$, $\partial_{\mu}=(\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t},\nabla)$.
[3] 坂野　斎，藤間一美，非線型光近接場の統一的現象論 (16a-NK-3，応用物理学会学術講演会，2010 年 9 月).

© 2014 年　応用物理学会