

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月18日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500155

研究課題名（和文）情報量解析に基づく位相回復法に関する研究

研究課題名（英文）A study on phase retrieval based on analysis of information measures

研究代表者

塩谷 浩之（SHIOYA HIROYUKI）

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90271642

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、情報量を基盤とした位相回復法の理論構築・解析を行い、さらに、非周期的な物質構造の解析に貢献するために、回折パターンからの高効率な物質構造復元手法の確立を目的とし、情報数理による位相回復法を対象とした基礎理論と応用研究を行うことである。

位相問題において、不完全な実・逆空間の拘束条件が与えられた場合には、実像となる解の不定性や収束に至らない不安定性がある。このような不定な条件のもとでは、弱い意味での位相回復解を求めていく必要がある。そこで、実空間における弱解群の分布を求めることで、その解集合の性質を明らかにした。逆空間における不完全さとしての条件として、量子ノイズを含む回折パターンに着目した。実空間上のノルム体積有限なすべての関数で構成される関数空間を設定し、実像間の情報量解析において用いる分布間情報量を導入することで、弱位相回復解が球殻に分布することを見出した。そのアンサンブル平均が適切な解を与えており、ノイズ回折パターンからの単一な位相回復では、その平均解が得られないことを明らかにした。画像復元、特に位相問題がからむ回折イメージングにおいて、解となる像の分布に着目したのは我々が初めてであり、この研究成果は米国の光学専門の論文誌(OSA)に採録された。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to establish the theory and analysis of the phase retrieval method based on information measures, and to introduce an effective method for reconstructing the structures of materials. Totally, the fundamental theory and applications of phase retrieval based on mathematical science are the main work throughout of this research. Given incomplete constraints of the object and inverse domains, the convergent-object function cannot be found in the unstable phase-retrieving process. The weakly phase-retrieved object under such the constraints is focused. The diffraction pattern contaminated with the shot noise is used for an incomplete constraint of the inverse domain.

Formulating the function space consisted by all the finite volume objects and introducing discrimination measures between densities, we found the sphere-shell distribution of weakly phase-retrieved images. The ensemble of the images is to be a plausible image as the phase retrieval problem. And we found that such the estimation cannot be obtained by only a single image by usual algorithms. In the field of diffractive imaging, we firstly focused the distribution of estimated images, and the spherical-shell distribution of the phase-retrieved images is presented in the journal paper, OSA.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費    | 間接経費    | 合計      |
|--------|---------|---------|---------|
| 2009年度 | 1900000 | 570000  | 2470000 |
| 2010年度 | 800000  | 240000  | 1040000 |
| 2011年度 | 800000  | 240000  | 1040000 |
| 総計     | 3500000 | 1050000 | 4550000 |

研究分野：知覚情報処理・知能ロボティクス

科研費の分科・細目：

キーワード：位相回復，量子ノイズ，多目的最適化，回折イメージング

1. 研究開始当初の背景

蛋白質のアミノ酸配列やDNAの塩基配列などを情報学の対象として，多くの研究成果が上げられてきた．記号情報処理だけではなく，対象を情報空間上で定義づけする情報数理的手法を重視することで，情報学と他の科学諸分野との更なる境界融合的な研究が期待される．

2. 研究の目的

顕微法は計測方法・機器の発展と物質科学の進歩で支えられている．位相問題を超越して回折強度のみから実像を見出そうとする新しい顕微法としての挑戦である回折イメージングでは，非周期構造からの位相回復を解く必要があり，不完全なデータからの推定など情報数理などの学問が必要となる．それには，情報理論による数学的な解析によって，回折イメージングが信頼度の高いレンズとなるための計算数理を構築することを目的としている．

3. 研究の方法

物質構造は，実空間上の体積有限の複素数値関数であり，その全体を関数空間上の1点となる．実像の関数空間とそれぞれのフーリエ変換によって構成される逆空間における関数空間がそれぞれ定式化される．関数空間に対して，情報理論的解析を導入し，情報数理による研究を展開する．さらには，従来から指摘されている，位相回復アルゴリズムの収束の問題や，実際のイメージングにおいて問題となる，電子カウントによる量子ノイズなど，位相回復を妨げる要因による解の影響にも着目して，解析と計算機による検証実験を行う．

4. 研究成果

我々は，まず，実空間における弱解群の分布を求めることで，その解集合の性質を明らかにした．逆空間における不完全さとしての条件として，量子ノイズを含む回折パターン

に着目した．実空間上のノルム体積有限なすべての関数で構成される関数空間を設定し，実像間の情報量解析において用いる分布間情報量を導入することで，弱位相回復解が球殻に分布することを見出した．そのアンサンブル平均が適切な解を与えており，ノイズ回折パターンからの単一位相回復では，その平均解が得られないことを明らかにした．画像復元，特に位相問題がからむ回折イメージングにおいて，解となる像の分布に着目したのは我々が初めてであり，この研究成果は米国の光学専門の論文誌(OSA)に採録された．

このような解構造に着目し，一方で研究分担者(郷原)が開発してきた電子線回折イメージング装置を用い，単層カーボンナノチューブの良質な電子回折像の撮影に成功した．それに基づいて，情報数理を基盤とした位相回復手法によって，試料の炭素原子配列クラスの分解像を達成した．これは，現有の対物レンズによる電顕像では到達できていない世界最高の分解能であり，アメリカの物理学専門論文誌(APL)に採録された．

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

① H. Shioya, Y. Maehara, K. Gohara: Spherical shell structure of distribution of images reconstructed by diffractive imaging, Journal of the Optical Society of America, A, Vol. 27 Issue 5, pp.1214-1218 (2010)  
<http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.27.001214>

② O. Kamimura, Y. Maehara, T. Dobashi, K. Kobayashi, R. Kitaura, H. Shinohara, H. Shioya, and K. Gohara: Low voltage electron diffractive imaging of atomic structure in single-wall carbon nanotubes, Appl. Phys. Lett. 98, 174103 (2011)

<http://dx.doi.org/10.1063/1.3582240>

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① S. Watanabe, H. Shioya, K. Gohara: Phase retrieval based on an Evolutionary Multicriterion Optimisation method. IEEE Congress on Evolutionary Computation 2010: 1-8.
- ② P. Uthai, D. Kitakoshi, H. Shioya: An adaptation system to unknown environment by modifying the parameters of profit-sharing method and using mixture probability” Proceedings of International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Information (Suzhou, CHINA) CD-ROM (2011)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：位相回復法の平均化法

発明者：郷原 一寿，塩谷 浩之

権利者：北海道大学，室蘭工業大学

種類：特許

番号：特願 2011-096788

出願年月日：平成 23 年 4 月 25 日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塩谷 浩之 (SHIOYA HIROYUKI)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90271642

### (2) 研究分担者

郷原 一寿 (GOHARA KAZUTOSHI)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40153746

### (3) 連携研究者

渡邊 真也 (WATANABE SHINYA)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30388136