

---

# 会場 C

## 領域 11, 13

---

### C-1 運動量依存局所変分波動関数に基づく固体内電子の準粒子励起理論

琉球大理<sup>A</sup> 梯祥郎<sup>A</sup>

固体内電子相関を波動関数に直接取り込んで記述する波動関数法は物理的描像が明確で、基底状態の様々な物理量を簡便に計算できるアプローチとして良く知られている。我々はこれまで金属領域で Gutzwiller 型波動関数を改良する運動量依存局所変分波動関数 (MLA) を発展させ、バンド理論では記述できない運動量分布関数、質量増大因子、電荷およびスピン相関などを明らかにしてきた [1]。今回、この理論をフェルミ液体描像に基づいて準粒子励起状態に拡張した。フェルミ液体理論によれば、フェルミ面近傍のハートレー・フォック励起状態に断熱的に電子間相互作用を加えていくと、N-1 系の準粒子励起状態はハートレー・フォック 1 粒子励起状態に MLA の基底状態相関演算子を直接作用させることによって求められる。このとき、励起エネルギーを  $E(N-1)$ 、基底エネルギーを  $E_0(N)$ 、フェルミエネルギーを  $E_F$  とすると、N-1 系の準粒子エネルギー  $E_k$  は、 $E_k = -E(N-1) + E_0(N) - E_F$  で求められる。この理論を無限次元ならびに単純立方格子ハバードモデルに適用して準粒子励起スペクトルを求めると、グリーン関数法で得られた準粒子励起スペクトルを良く再現できることが分かった。この方法を第 1 原理多軌道ハミルトニアンに適用することによって、現実の光電子分光スペクトルを波動関数法から直接求める事が可能になる。

[1] Y. Kakehashi, JPSJ 77, 114702 (2008); 80, 114708 (2011); 82, 013702, 084710 (2013); 85, 043707, 064714, 084708 (2016); 86, 034711 (2017); 90, 034708 (2021); 91, 024705 (2022).

## C-2

### サブショック形成の条件に基づく混合気体中の衝撃波構造の分類

北九州工業高等専門学校<sup>A</sup> 松本悠<sup>A</sup>, 谷口茂<sup>A</sup>

衝撃波は結石の破砕などの医療分野や、レーザー加工、航空宇宙工学など非常に幅広い利用範囲を持っており、その波面構造の解析は重要である。双曲型のバランス方程式では、衝撃波の速度が臨界速度以下では衝撃波構造は連続で、臨界速度を超えると不連続面（サブショック）が形成されることが知られている。

本研究では二つの気体の温度が違うモデル [1] で Euler 方程式系を用いて二種の Euler の混合気体中における平面衝撃波の数値解析を行い、臨界速度を求める。双方の気体は理想気体の状態方程式に従うものとする。本研究で対象とする Euler の混合気体中において特性速度は各気体の音速で与えられ、原理的には衝撃波の速度が特性速度を越えるとサブショックが形成される。このことを利用して衝撃波の速度と特性速度の大小関係で衝撃波構造の分類が行われた [2]。この分類は必要条件を用いたものであるため特性速度が最大でない気体では、衝撃波の速度が特性速度を超えていてもサブショックが形成されない場合がある。このような特殊な場合では、実際にサブショックが形成されるかどうかは数値計算を試みなければわからない。

そこで本研究ではそれぞれの気体の比熱比、質量比、混合比を細かく変化させて数値計算を大量に行い、数値計算結果から臨界マッハ数を求めた。それをもとに実際にサブショックが形成されるかどうか（必要十分条件）で行なった分類の結果を報告する。

[1] T. Ruggeri S. Simiá, Math. Methods Appl. Sci., Vol. 30, pp. 827-849 (2007).

[2] T. Ruggeri S. Taniguchi, Physics of Fluids, Vol. 34, 066116 (2022).

## C-3

### 不均一なフィッシャー方程式の進行波数値解

九州工業大学大学院 情報工学研究院<sup>A</sup> 大澤智興<sup>A</sup>

フィッシャー方程式は、式 (1) の反応拡散方程式であり、ロジスティク関数と拡散項で構成される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D\nabla^2 u + u(1-u) \quad (1)$$

この式 (1) は、生物の侵入や拡散現象を表すモデルとして用いられ [1]、その解析や数値解が得られてきた。既に著者は、FitzHugh-Nagumo 方程式を用いて、媒体が不均一な状況で、その効果を伝播特性（分散関係）として報告した [2-3] が、本報告では、よりシンプルなフィッシャー方程式を用いることで、媒体の不均一な効果をより明確に調べることを目的とした。

[方法]

本研究における数値解における不均一さは、媒体である 2 次元上の格子において、式 (1) の右辺第 2 項を含まない箇所を不活性なセルとし、2 項を含む箇所を活性なセルとする。これら 2 種のセルを混合することで、不均一さを設定した。この反応拡散方程式の数値積分の計算には Python/CuPy を用いた。

[結果]

活性なセル密度  $\rho$  が高いほど、拡散係数  $D$  が大きいほど進行波の速度  $V$  は、速くなった。その依存性は、次元解析や進行波の速度、スネルの法則を用いると  $V \propto D\rho^{\frac{1}{2}}$  となることがわかった。

[1] 二宮広和 侵入・伝播と拡散方程式 共立出版 (2014)

[2] C.Oosawa, "Dispersion relation and percolation transition in inhomogeneous FitzHugh-Nagumo reaction-diffusion media", PFN 2023, 6th Yamada Symposium, Poster No.4 (2023)

[3] C. Oosawa, 信学技報, vol. 123, no. 203, NLP2023-50, pp. 96-99, 2023 年 10 月.

<https://ken.ieice.org/ken/paper/20231007eCXt/>

## C-4

### 桜島の噴火間隔データから見る活動状態の時間変動

福岡県立大人社<sup>A</sup>, 鹿児島大理<sup>B</sup>, 鹿児島大名誉教授<sup>C</sup> 石崎龍二<sup>A</sup>, 秦浩起<sup>B</sup>, 井上政義<sup>C</sup>

火山の噴火は、プレート同士の接触に伴う摩擦の結果として、マントルが溶けることにより、マグマが発生し、それが地表に噴出する現象であると考えられている。日本列島は、複数のプレートが互いに近づき合う地域であり、活火山が100を超えている。

桜島の1955年以降の年間爆発的噴火回数のデータによると、桜島は、年間複数回の噴火を起こし、間欠的に噴火を繰り返している。西・井上・田中・村井 [1] は、1981年から1999年にかけての桜島の爆発的噴火の時系列に関するハースト指数が0.5を越え、長期記憶をもつ過程であることを示した。

桜島の噴火の間隔は時期によって大きく変化をしている。そこで、近年の桜島の爆発的噴火時系列の期間別の変化に着目した。講演では、桜島の噴火間隔データを活用して、火山活動状態の時間変動について解析した結果を報告する。

## 参考文献

[1] Y. Nishi, M. Inoue, T. Tanaka and M. Murai, Analysis of Time Sequences of Explosive Volcanic Eruptions of Sakurajima, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 70, No. 5, 2001, pp. 1422-1428.

## C-6

### ネットワークモチーフの情報転送の特性

九州大学 芸術工学研究院<sup>A</sup>, 九州大学 数理・データサイエンス教育研究センター<sup>B</sup>, 京都大学 医生物学研究所<sup>C</sup>, 理化学研究所 iTHEMS<sup>D</sup>, カリフォルニア大学 バークレー校<sup>E</sup> 森 史<sup>A,B</sup>, 岡田 崇<sup>C,D,E</sup>

生物系の情報伝達を担う神経や遺伝子のネットワークでは、しばしば典型的な繋がりパターンが見られる。これらはネットワークモチーフと呼ばれ、様々な生物学的機能を担っていると考えられている。しかしながら、ネットワークモチーフがもつ情報伝達の特性はこれまでよくわかっていなかった。

我々はこの問題にアプローチするために確率的ブーリアンネットワークを考え、ネットワーク上の情報の流れ（移動エントロピー）を情報伝達経路を用いて記述する公式を導出した [1,2]。この公式をネットワークモチーフに適用し、ネットワークモチーフの情報伝達の特性を明らかにした [2]。具体的には、ポジティブフィードフォワードモチーフは高周波の入力を、ネガティブフィードフォワードモチーフは低周波の入力を遮断するフィルターの役割を備えていることが分かった。さらに、その特性は、長さの異なる情報伝達経路の相互作用

によって生み出されていることを突き止めた。

[1] Fumito Mori and Takashi Okada, Diagrammatic expansion of information flows in stochastic Boolean networks, PHYSICAL REVIEW RESEARCH 2, 043432 (2020)

[2] Fumito Mori and Takashi Okada, Information-transfer characteristics in network motifs, PHYSICAL REVIEW RESEARCH 5, 013037 (2023)

ブーリアンネットワークにおける情報の流れの一般公式

$$T_{S \rightarrow N} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k(k-1)} \sum_{\alpha_1} \cdots \sum_{\alpha_k} \left( E[\mathcal{P}_{\alpha_1} \cdots \mathcal{P}_{\alpha_k}] - E[\mathcal{P}_{\alpha_1}] \cdots E[\mathcal{P}_{\alpha_k}] \right)$$

1つ1つの  $\mathcal{P}_{\alpha}$  は、以下のような情報経路に対応する。



## C-8 多様化する物理初年次教育

自宅<sup>A</sup> 巨海玄道<sup>A</sup>

筆者は30年余の国立大学勤務の後、私立大学へ移り約10年間勤務した。そして両方の大学で主に12年生を対象に物理基礎教育に携わった。対象となった学生は文系から理工系に至る広範な学生であった。またそこで使われている教科書も多種多様でありバラエティーに富んでいた。大学のランクを表すものに入試の偏差値がある。例えば偏差値が40以下の大学は全入大学や所謂Fランク大学などと呼ばれており、新入生の基礎学力は四則演算や分数の計算もおぼつかない学生も散見される。他方70前後の大学は難関大学と呼ばれており入学してくる学生は高い基礎学力を持っており、微分方程式を使えるなどかなり高度なレベルの講義も可能である。このような大学では例えば原康夫著「物理学基礎」(学術図書出版)などがテキストとして用いられている。ところが前者の大学ではこのレベルのテキストを用いた講義はほとんど不可能であり、講義の担当者は大きなカルチャーショックを受けるとともに、研究とはまるで違った難問に遭遇することになる。このように物理学(他の科目も同じ)初年次教育においては対象となる学生の目線に合わせた教育が必要になる。このことについて考察する。

## C-9 素粒子を学べるカードゲームの開発とアウトリーチの実践

九大基幹<sup>A</sup>, 九大理<sup>B</sup> 小島健太郎<sup>A</sup>, 大久保勇利<sup>B</sup>, Carolina Sayuri Takeda<sup>B</sup>

素粒子は自然界の基本的な構成要素であり、現代の物理学が明らかにした自然観を学ぶ上で重要な対象である。広く社会に対する科学教育やアウトリーチの観点から、一般市民や子供たちも含め、多くの人が素粒子について容易に学ぶことができ、科学や自然に対する理解や関心を深めることができる学習機会を提供することは重要だと考えられる。

しかし、素粒子について学ぶことはそれほど容易とは言えない。初等中等教育において、素粒子に関する学習機会は極めて限られている。また、よほど関心を持っていない限り、日常生活やメディアを通じて素粒子のことについて学ぶ機会も得られない。それゆえ、物理学の非専門家であるほとんどの人にとって、素粒子はそもそも馴染みがないというのが現状である。以上をふまえると、素粒子について易しく学べて、素粒子についての理解や関心を高められるような教育手法の開発、および教育の実践は、取り組むべき意義のある課題で

ある。

これらの問題意識に基づき、近年、私たちは素粒子について楽しく学べるカードゲームの開発、およびそれを用いた教育の実践に取り組んでいる。本発表では、カードやゲームルールの設計、およびカードを用いて行った教育実践について紹介する。カードは全部で32種類からなり、1枚1枚に質量や電荷等のパラメータを付与している。ゲームルールは、未就学児でも楽しめる簡易的なバージョンと、大人まで楽しめるような高度なバージョンを用意した。教育実践では、幅広い年齢層の参加者が、ゲームを楽しみながら素粒子についての関心を深めたことが示唆された。



## C-10 マイコンボードを用いた電子回路実習：計測 Program の開発

佐賀大学医学部<sup>A</sup> 富永広貴<sup>A</sup>

佐賀大学医学部医学科の物理実習の「電気電子回路の実験」において、Arduino や Raspberry Pi PICO などの ADC を搭載したマイコンボードを利用し、音声、心電図、筋電図、指尖容積脈波測定などの実験を行っている。1 学年約 105 名を半分に分け、1 日に 50 数名の学生を 2 人 1 班とし、26 班が同時に実験に取り組むため、以前はアナログのオシロスコープを 27 台用意して実施していましたが、老朽化とコストの課題から、より効率的かつ先進的な手法を模索してきた。デジタルオシロスコープの導入も検討したが、26 台を用意する予算の制約から、マイコンボードを活用することにした。初めは Arduino UNO、最近では Raspberry Pi PICO を使い、これらのマイコンボードに搭載された AD 変換機能を利用して、USB 経由で PC にデータを取り込むという手法を試行している。計測用のプログラムは、簡易な物しか公開されておらず要件を満たさなかったため、独自に開発した。今回の発表では、開発した Program の紹介をさせていただく。マイコンボード側は C++ で、PC 側は Python でのプログラミングを採用した。

この計測 Program の特徴と利点をあげる。まず、Python 実行環境がある PC 用 OS であれば Windows, Mac, Linux と何でも動くため、所有する PC を持参するだけでよい。Multi thread を利用して、USB 転送と画面表示を別に動かしているため、測定中の Data は binary 形式で保存され続けるので、Data 損失のリスクが低い。保存した Data は別の Program でグラフの描画、excel 形式に変換することができる。USB 経由でデータを受け取るため、マイコンボード側で対応する Program を書けば、例えば温湿度計など I2C や SPI 規格のセンサー類のデータを取得することも可能である。これは、binary data からの変換式や座標軸名を個別の設定ファイルに書くことで実現している。これにより、一つの Program で様々な機器やセンサーに対応できる。

限界点としては、時間分解能の限界が USB 転送速度により決められてしまい、CPU パワー不足の PC では、2ms~10ms 程度になることもあることである。

## C-11 Raspberry Pi Pico を用いた医学部物理実習における生体時系列信号測定課題の実践と効果

佐賀大学医学部<sup>A</sup> 一ノ瀬浩幸<sup>A</sup>, 富永広貴<sup>A</sup>

医学科 1 年生に対し基礎科学系実習の一環として物理学実習を 2 テーマ行い、その題目の一つに電気・電子回路の実習として Raspberry Pi Pico を用いた生体信号の測定課題を行ったので、その内容と教育効果について報告する。課題内容は、2019・2020 年度は (1) テスターによる測定 (直流電圧/抵抗器の抵抗/手のひら間の抵抗/直流電流/商用交流電圧/ダイオードの抵抗/電源装置の交流電圧) (2) マイコンボード (Arduino) と各種センサーを用いた生体情報の測定を行った。2021~2023 年度はマイコンボードを Raspberry Pi Pico へ変更して同様の課題を行った。またマイコンを用いて PC に生体時系列情報をリアルタイムに表示・保存するシステム (当学会での共同研究者発表 C-10) を当研究室で開発し、学生は自分のノート PC に Python の開発環境と測定用プログラムをインストールし、マイコンボードを USB 経由で接続し、自分の生体情報を測定した。マイコンボードと各種センサーを用いた生体情報の測定の詳細は以下の通りである。(1) 音声マイクを用いた音声の取込み/周波数の測定 (2023 年度は削除) (2) 3 点誘導心電計を用いた心電図の取込み/心拍の測定 (3) 筋電計を用いた筋電図の取込み (4) ブレッドボードに指尖容積脈波の測定回路を作成し、脈波の取込み/心拍の測定。学生アンケートの結果、「実習内容の修得・理解度」「総合的満足度」「実習の重要性」が 2019 年度→2020 年度で向上したが、2021,2022 年度と段階的に下がってしまった。また新しいマイコンボードの導入に関して顕著な効果は見られなかった。しかし自由意見欄では、課題内容に関しては肯定的な意見が多かった。特に生体信号の測定課題やプログラミングに関し良い経験になったという意見が多く、将来開発系の仕事に携わる場合に役立つと考えられる。一方、プログラミング環境の構築や実行等に関してまったく経験が無い学生が多く、これらを行なう際にトラブルが多発した事が原因で「難しい」「内容が多い」「時間がかかりすぎる」といった意見が多く見られた。今後の課題として更なる課題内容の見直しと共に学生のコンピューターリテラシーの向上が重要であるが、後者は解決が難しい。ただし 2022 年度から高校に「情報 I」必修化され 2025 年 1 月の共通テストから出題される予定なので、今後の改善に期待するところである。