

---

## 会場 B

# 物理教育, 実験核物理, 宇宙線・宇宙物理領域

---

### B-1 宮崎の物理教育における高校と大学の連携

都城工業高校<sup>A</sup>, 宮崎大学工学部<sup>B</sup> 木村英二<sup>A</sup>, 森浩二<sup>B</sup>

高等学校及び大学での物理教育の充実、さらに高等学校と大学との接続の改善を図るためには、両者間の連携および相互理解が重要である。そのためには高等学校及び大学の物理教育に携わる教員間の交流を深め、情報を交換する場の設定が必要となる。本県では、平成13年より県内の高等学校と宮崎大学の物理教育に携わる教員を中心に「高等学校と大学との物理教育に関する連絡会」(以下、物理連絡会)を開催している。お互いの教育現場の状況、カリキュラム、授業内容等について情報を交換し、高校及び大学の授業改善等に生かすことが目的である。また、これまで交流の無かった両者間が一堂に会する機会を作り、交流を深めることも重要な目的の1つである。これまで、年に1回から3回のペースで計11回の会合を実施した。本発表では、本県で実施している物理連絡会の活動内容について報告し、運営上の問題点や工夫点、及び本連絡会の成果と今後の課題について述べる。

## B-2 アドバンスンク物理に見る英国の物理教育 II～大学初年次における教育実践例～

九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup>, 久留米工大<sup>C</sup> 岡本哲平<sup>A</sup>, 谷口陽輔<sup>A</sup>, 山下綾佳<sup>A</sup>, 松田大輔<sup>A</sup>, 巨海玄道<sup>B,C</sup>

イギリスのAレベル物理コース（日本での高校2・3年生に相当）の教科書である「アドバンスンク物理」[1]（以下APと略）が、教科内容の配列やストーリー展開において日本の高校物理の教科書と大きく異なっている事や、教科書と付属のCD-ROMを同時に活用するように想定し開発されている事などについて昨年報告した[2]。それによると、APは日本の高校物理の教科書と比較して練習問題のレベルに大きな違いは見られないものの、情報技術や材料の性質・構造など日本の高校物理にはない内容が扱われており、また、(1) 実社会の中で現れてくる物理現象の姿を示すことに努めている、(2) 付属CD-ROMを活用することでより深い理解力をもたらすような設計になっている、(3) 生徒実験や探究学習が中心の授業を支援するように構成されているなどの特徴を持つことがわかった。本研究ではAPに収録されているさまざまな演示実験例について紹介し、我が国における高校物理の教科書と比較検討する。具体的には付属CD-ROM内に収められ、コース全体にわたって用いられているモデリングソフト「モデラス」を用いた簡単な力学分野でのシミュレーション作成例の紹介や、複数の重力加速度の測定実験例について紹介する。これらの結果を踏まえて、モデリングの有用性やAPの教育上の利点および欠点について検討したい。

[1] アドバンスンク物理 J. オグボーン, M. ホワイトハウス編（笠耐, 西川恭治, 監具博義監訳）, シュプリンガー・フェアラーク東京

[2] 松田ら 第114回日本物理学会九州支部例会 G-19 アドバンスンク物理に見る英国の物理教育

## B-3 高校の理科履修状況と大学初年次教育の関係

九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup>, 久留米工大<sup>C</sup> 谷口陽輔<sup>A</sup>, 岡本哲平<sup>A</sup>, 山下綾佳<sup>A</sup>, 巨海玄道<sup>B,C</sup>

近年、高等学校では多様なカリキュラムが組まれており、大学初年次の学生が、皆一律な学力を持っているとはいえなくなっている。このような現状において、大学初年次での理科(物理)教育課程も、それに対応した弾力的な教育が必要になってきている。その対策を考える上で、高校での理科履修状況と大学初年次における理科(物理)の学力の関係の調査を行った。また、高校理科へのつながりを考え、中学校での理科の実態についても調査を行った。調査の内容は主に2つである。1つは、中学校や高校における理科教育の実態を把握するため、実際にいくつかの学校を訪問し理科のカリキュラムや実験、授業の進め方などを教員の方に聞いていくものである。2つ目は、国立大学文系、私立大学文系、私立大学理系の3つのグループにおける、高校での理科の履修状況と理科に関する基礎学力テストの結果の調査である。さらに理系学生の比較資料として、国立大学および私立大学の理系学生にも同じ調査を行った。中学校理科ではすべての生徒が物、化、生、地の4分野全てをまんべんなく学んでいる。一方で、高校の理科教育では高等学校学習指導要領で必修とされる「理科総合A」「理科総合B」「理科基礎」のうち1つと「化学I」「物理I」「生物I」「地学I」のうち1つの中で、大学受験を見越して「理科総合A」の化学分野と「化学I」が主に選択されている。物理に関しては生物(地学)との選択制になっており、生物(地学)と理科総合Bを選択してしまうと高校では一切物理に触れる機会がないことになってしまう。高校の理科履修状況と大学初年次の成績との関連調査では上記のことを加味して、「物理Iを履修した学生」「理科総合Aを履修した学生」「物理分野を全く履修していない学生」の3つの観点から分類して基礎学力等の調査を行った。今回はこれらの結果をあわせて報告する。

## B-4 落ち葉を用いたペレット材開発への高圧技術の応用 ～資源の有効活用～

九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup>, 久留米工大<sup>C</sup> 山下綾佳<sup>A</sup>, 岡本哲平<sup>A</sup>, 谷口陽輔<sup>A</sup>, 巨海玄道<sup>B,C</sup>

近年、カーボンニュートラルな燃料として注目され始めているのがペレット材である。ペレット材とは、おがくず、カンナくず、建築端材、間伐材などの廃材を原料とし、それらを粉碎・乾燥させ、造粒機で圧力をかけて、棒状に成形したものである。圧力をかけたときに木の構成要素(リグニン)が軟化することによって固まるので、接着剤を加える必要がなく環境に無負荷である。また、乾燥させて含水率を10%前後に落としてしているため、燃焼効率が良い。

今回は、廃材に代わって、落ち葉を原料としたペレット材の開発を試みた。現在、落ち葉のほとんどは産業廃棄物として処理されてしまっているが、ペレット材の原料として使用することができるとすれば天然資源の有効利用となりうる。本研究では、圧力が粉末を固化する効果をもつことに着目して、乾燥した落ち葉を粉末状にし、シリンダーに詰めて10t プレスを用いて圧力をかけて成形した。約15gの落ち葉から、直径8mm×長さ20mmのペレット材が10個できた。木の葉にもリグニンは含まれているため、木質ペレットと同様に接着剤は加えていない。また、比較対象として、おがくずとカンナくずを原料としたペレット材を同じ方法で作製した。市販の木質ペレットと作製した落ち葉・木質ペレットで、硬度・燃焼・耐水の比較を行い、落ち葉ペレット材の実用化に向けた基礎的研究を行った。その結果について、作製した押出成形器具の機能を含めて報告する。

最後に、おがくずとカンナくず、木質ペレットをご提供していただいた、末田建設株式会社代表取締役の末田公也様と有限会社篠原木工所代表取締役の篠原昭人様、株式会社フォレストエナジー日田の坂本様に御礼申し上げます。

## B-5 九大タンデムにおける AMS の安定化

九大院理<sup>A</sup> 池谷康佑<sup>A</sup>, 上地健一<sup>A</sup>, 島本昌樹<sup>A</sup>, 福田毅<sup>A</sup>, 森川恒安<sup>A</sup>, 野呂哲夫<sup>A</sup>, 前田豊和<sup>A</sup>

現在九大タンデムでは AMS(加速器質量分析)による放射性炭素年代測定の高精度化のため、同位体の逐次入射切替えの高速化と、加速器パラメータのモニタリングシステムを開発している。

逐次入射については、加速器への入射時間を短縮し、繰り返しの周波数を高めた。そのため、ビーム強度の時間変動による同位体比測定への影響を小さくできることが期待される。更に、大強度の<sup>12</sup>Cビームの入射時間を短くすることで加速器のターミナル電圧の変動が抑えられ、安定したビーム輸送ができる。モニタリングは1台のPCで行っている。現在はAMSビームラインのほとんどの輸送パラメータをリアルタイムにモニタしている。

将来的にはモニタリングシステムを拡張させ、パラメータの変動に対してフィードバックをかけることを目標としている。本講演では開発の経過と測定結果について述べる。

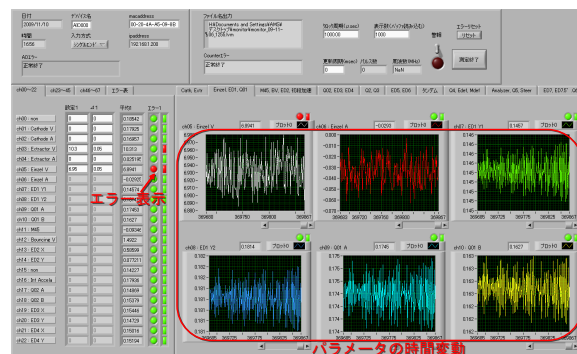


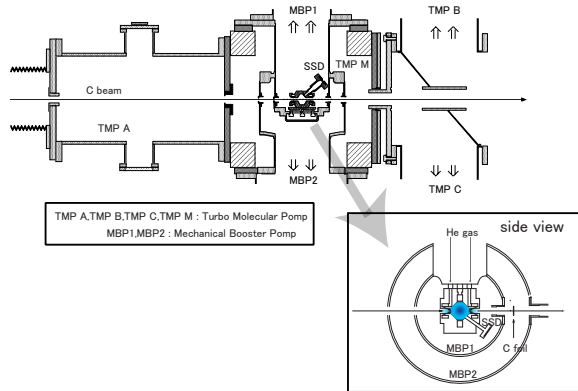
図1: モニタリングシステムのスクリーンショット。全パラメータはリアルタイムにモニタされ、Excelファイルとして自動的に保存される。パラメータの変動が許容範囲を超えると警報が鳴る。

## B-6 天体核実験のための膜なし He 標的の圧力分布と厚さ測定

九大院理<sup>A</sup> 大場希美<sup>A</sup>, 相良建至<sup>A</sup>, 寺西高<sup>A</sup>, 藤田訓祐<sup>A</sup>, 谷口雅彦<sup>A</sup>, 岩淵利恵<sup>A</sup>, 後藤昂<sup>A</sup>, 中野桂樹<sup>A</sup>

天体ヘリウム燃焼で重要な  $E_{cm} = 0.3\text{MeV}$  での  ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$  の反応は断面積が非常に小さいため、 $E_{cm} = 2.4 \sim 0.7\text{MeV}$  の領域で断面積を測定し結果を外挿して求める。この測定で薄膜で閉じ込めた気体標的を使うと、エネルギーが低い  ${}^{16}\text{O}$  は薄膜内で止まり検出できない。そこで、九州大学では吹込み型膜無し気体標的 (Blow-in Windowless gas target = BIGT) を開発した。我々が目標としている気体標的の厚さは (25torr  $\times$  3cm) であるが、この目標は差動排気系の強化や標的の改造により達成されている。しかし、この反応の断面積の絶対値を決定するためには、この He 気体標的の正確な厚さを知る必要がある。そのため、p ビームによる 0 度方向弾性散乱を用いて、厚さの分かっている膜あり気体標的を用いた時と膜なし気体標的

を比較することで膜なし気体標的の厚さを求めた。また、p ビームを用いた散乱実験で標的の圧力分布を調べ、これにより気体標的厚さ測定の結果を再現できるかどうか試みた。講演では、標的厚さ測定と圧力分布の結果について述べる。  
top view of BIGT



## B-7 $E_{cm} = 1.5\text{MeV}$ での ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$ 断面積測定：BG 低減

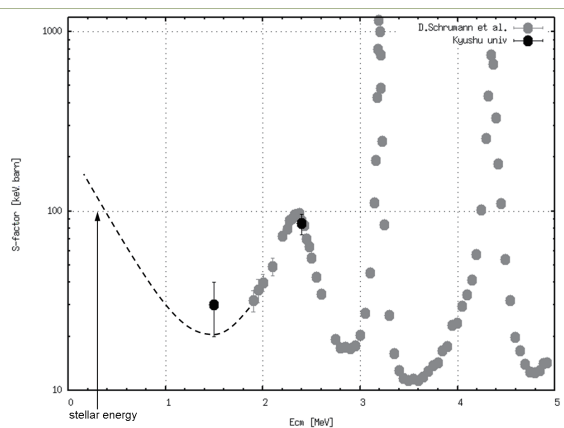
九大院理<sup>A</sup> 後藤昂<sup>A</sup>, 相良建至<sup>A</sup>, 寺西高<sup>A</sup>, 藤田訓祐<sup>A</sup>, 谷口雅彦<sup>A</sup>, 岩淵利恵<sup>A</sup>, 中野桂樹<sup>A</sup>, 大場希美<sup>A</sup>, 田中薫<sup>A</sup>, 松田沙矢香<sup>A</sup>, 山口裕幸<sup>A</sup>

九州大学タンデム実験室では、星の進化において重要な反応である  ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$  の反応断面積測定を行っている。天体でのこの反応のエネルギーは  $E_{cm} = 0.3\text{MeV}$  であり、我々はそのエネルギーでの S 因子を外挿から求めるために  $E_{cm} = 2.4 - 0.7\text{MeV}$  での測定を計画している。この反応で生成される  ${}^{16}\text{O}$  の数は非常に少なく、その精密測定の為には十分にバックグラウンドを低減しなければならない。

昨年度 2.4MeV での測定を終え、今年九月  $E_{cm} = 1.5\text{MeV}$  でのテスト測定を行い生成  ${}^{16}\text{O}$  を確認した。これにより  $E_{cm} = 1.5\text{MeV}$  での反応断面積を大まかではあるが求めることが出来たが、バックグラウンドとの分離が十分ではなかった。反応断面積が  $E_{cm} = 2.5\text{MeV}$  のおよそ  $\frac{1}{10}$  となる 1.5MeV において精密な測定を行うには、ビーム強度を高めつつ、パルスビー

ムの安定化、スリット調整などで更なるバックグラウンドの除去を成す必要がある。

講演では、 $E_{cm} = 1.5\text{MeV}$  のテスト測定結果報告と、本実験に向けた BG 低減、さらに将来の測定計画を述べる。



## B-8 AGN 降着円盤における円盤自己重力の影響

熊本大・院・自然<sup>A</sup> 甲斐隆志<sup>A</sup>, 荒井賢三<sup>A</sup>

活動銀河中心核 (AGN) ではその中心ブラックホール近傍に降着円盤が存在し、円盤内の質量降着プロセスを通じて重力エネルギーが解放され光輝くと考えられている。また、2型 Seyfert や LINER といった AGN には強力な H<sub>2</sub>O メーザー (メガメーザー) が観測されるものがあり、これらのメガメーザーは中心ブラックホールから 0.1 – 1 pc 程度のサブパーセク領域にみられる。我々はこのメガメーザーの起源は降着円盤内での分子形成によるものと考え、この領域での円盤の物理状態と分子反応を研究している。

分子形成を考えている領域は降着円盤の外部領域であり、この領域では中心天体重力に比べ円盤の自己重力が無視できなくなると考えられる。鉛直方向の円盤自己重力を  $4\pi G\rho H$  ( $\rho$ ,  $H$  は円盤の密度と半分の厚み) とし標準円盤モデルの解析解を用いて概算すると、サブパーセク領域では鉛直方向の円盤自己重力が円盤構造に影響を及ぼすと予想される。一方、メガメーザーが Kepler 回転していることから動径方向の自己重力は無視できると仮定する。

また、 $\alpha$  ディスクモデルでは一般に動粘性係数を  $\nu = \alpha c_s H$  ( $\alpha$ ,  $c_s$  は粘性パラメータと音速) と仮定するが、その導出は自己重力を無視した静水圧平衡を用いているので、鉛直方向の自己重力が優勢となる領域ではこの表現は適切ではない。

これらのことから本研究では、鉛直方向の静水圧平衡に円盤自己重力による項を加え、 $\nu$  の表現を適切なものに置き換えてモデルを構築した。このモデルを NGC 4258 に適用した場合、これまでのモデルと比較して円盤の温度構造には変化が現れないが、密度と厚みには顕著な違いが見られることがわかった。

## B-9 放射圧によって歪められた降着円盤

熊本大・院・自然<sup>A</sup> 伊藤仁史<sup>A</sup>, 荒井賢三<sup>A</sup>

NGC 4258 の中心核にある水メーザーの解析から、この降着円盤が歪んでいると考えられている。歪みの原因としては、Bardeen-Petterson 効果 (Lense-Thirring 効果と降着円盤の内部粘性との複合作用)、中心核から放射される放射圧による効果、自己重力による効果、共鳴緩和による効果 (大小異なる降着円盤が合わさったことによる効果) などが指摘されている。Bardeen-Petterson 効果はブラックホール近傍においてのみ有効であることが判明したので、今回は放射圧による効果を考察する。中心天体からの放射圧によって距離  $r$  と  $r + dr$  の環に働くトルクの成分は

$$dG = \frac{L}{6c} [\beta r \gamma' (\cos \gamma, \sin \gamma, 0) + r \beta' (\sin \gamma, -\cos \gamma, 0)] dr$$

である。ここで  $L$  は中心天体の光度、 $\beta$  は、 $\gamma$  は球座標系の偏角である。数値計算を行うことで放射圧が効いてくるかどうかを検証する。

## B-10 活動銀河核まわりのトーラス

熊本大・院・自然<sup>A</sup> 江口雅俊<sup>A</sup>, 荒井賢三<sup>A</sup>

活動銀河核の種類としてセイファート銀河があり、セイファート銀河は1型と2型に分類される。1型はスペクトルに幅の狭い輝線と広い輝線の両方が観測され、2型では幅の狭い輝線しか観測されない。この2種類は統一モデルにより理解されていて、このような観測結果が起こる理由として観測者の視線方向に活動銀河を覆うダストトーラスがあることが原因で起こると言われている。

ダストトーラスには様々なモデルがあるが、Vollmer et al. 2004 を参考にトーラス内の球状の雲同士が衝突する collisional model を採用し、トーラスの密度分布を作成した。トーラスの密度分布には Beckert 2004 より鉛直方向には静水圧平衡、動径方向には角運動量輸送の式を用いトーラスの密度分布を決めた。中心ブラックホールの質量などのパラメーターは活動銀河 NGC 1068 の観測結果を用いた。

## B-11 カーブラックホール周りのエルゴ領域と降着円盤とを結ぶ磁場によるジェット形成

熊本大・院・自然<sup>A</sup> 甲斐洋<sup>A</sup>, 小出真路<sup>A</sup>

活動銀河核やマイクロクェーサーなどの中心にはブラックホールの存在が示唆されており、更にそれらの天体から相対論的ジェットが観測されている。その相対論的ジェットの加速機構や収束機構については様々なモデルが提唱されている。

最近、その中でも加速・収束機構を同時に説明できる磁場を用いたモデルが注目されている。これは、回転しているブラックホール(カーブラックホール)による時空の引きずり効果により、周りの磁力線がねじられることで磁気圧が急速に高くなり、プラズマがその磁気圧によって加速されることでジェットが形成されるというモデルである。

我々は、高速回転するブラックホール(回転パラメーター  $a = 0.99995$ ) 周りのエルゴ領域とケプラー回転する円盤の間に閉じた磁力線を初期に配置した場合について、一般相対論的 MHD (GRMHD) 数値計算を行い、ジェットが形成されることを示した。

今回、回転の遅いブラックホールについてジェットの形成過程・構造を調べた。また、弱い閉じた磁場を伴った降着円盤の GRMHD 数値計算を行い、ブラックホール近傍では Blandford-Znajek 機構が自然と現れることを示唆した先行研究 (McKinney et al. 2007) との比較を行った。

## B-12 ブラックホールと降着円盤の系における quasi-periodic inward shock 形成

熊大・院・自然<sup>A</sup> 宇戸大樹<sup>A</sup>, 小出眞路<sup>A</sup>

マイクロクエーサー GRS 1915+105 などのブラックホール候補の X 線強度変化において約 100Hz の高振動数成分と約 1Hz の低振動数成分の 2 つの QPO (quasi-periodic oscillation) が観測されている。高振動数成分の QPO に対する説明として、降着円盤からブラックホールに向かって伝播する音波が円盤中の非一様な epicyclic frequency 分布によりフィルタリングされるモデルが提案されている (Aoki et al. 2004)。彼らは、初期に Kepler 速度の 95% (sub-Kepler 速度) で回転する粘性のない降着円盤を考え、その 1.5 次元一般相対論的流体力学シミュレーションを行った。その結果、内側に向かう衝撃波が円盤の内縁近辺に epicyclic frequency の最大値程度の振動数で形成されることを示した。しかし、sub-Kepler 速度が生じる原因については降着円盤における磁気回転不安定性が挙げられているだけで、その具体的な機構は明らかにされていない。

本研究では、sub-Kepler 速度の形成と高振動数 QPO に対するより首尾一貫したモデルを構築するため、pseudo-Newtonian ポテンシャルを用いた 1.5 次元 MHD シミュレーションを行う。MHD シミュレーションには CIP-MOCCT 法を使用し、急激な密度の時間発展を安定して追えるようにした。sub-Kepler 速度で回転する円盤のかわりに、Kepler 速度で回転する円盤と動径方向の磁場を初期条件として用いる。円盤の差動回転により磁場が渦状に歪曲し、円盤は磁気トルクのために減速され円盤の速度は自然と sub-Kepler 速度になる。その後、Aoki et al. (2004) により示されたような降着円盤からブラックホールに向かう衝撃波が繰り返し形成される。今回の講演では、われわれの用いた MHD コードの概要とそのシミュレーション結果を報告する。

## B-13 降着円盤における 2 温度モデルの取り扱い

熊本大・院・自然<sup>A</sup> 馬場多聞<sup>A</sup>, 荒井賢三<sup>A</sup>

低光度活動銀河核 (Low Luminosity Active Galactic Nuclei; LLAGN) など比較的活動性の低い銀河中心核からのスペクトルを再現するために様々な円盤モデルが構築されている。

その中でも成功を収めているのが Narayan et al. (1995) で考えられたような、光学的に薄く十分に放射が行われないため内部への移流が優勢になるという移流優勢降着円盤 (Advection Dominated Accretion Flow; ADAF) モデルである。現在では、さらに外部に標準円盤が広がり内部で ADAF に接続するような内部高温流モデルや、標準円盤の表面付近に高温のガスが広がる円盤コロナモデル、その両者を組み合わせたハイブリッドモデルなども考えられているが、依然 ADAF モデルの有用性は保持されている。

そこで本研究では、Narayan et al. (1995) により導出された自己相似解を基に、冷却過程として内部への移流、シンクロトロン放射、制動放射及びそれらのコンプトン散乱を考慮した。また、電子とイオンの質量差から粘性加熱は主にイオンにより行われると考えられるが、光学的に薄いためイオンから電子へのエネルギー伝達が十分行われず、イオンと電子間に温度差が生じる 2 温度モデルを採用した。

我々から 8 kpc ほど離れた銀河中心には Sgr A\* と呼ばれる巨大重力源があり、質量  $4.0 \times 10^6 M_{\odot}$  のブラックホールが存在すると考えられている。光度、質量降着率はそれぞれ  $L \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ ,  $\dot{M} \sim 10^{-6} - 10^{-9} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  と見積もられており、LLAGN の中でもとりわけ理論的・観測的に重要な天体である。今回使用するパラメーターには Sgr A\* のものを用いた。