

若手フロンティア研究会 2016 概要集



開催日 : 2016年12月21日(水)

場 所 : 神戸大学百年記念館

発表プログラム

アイソトープ部門 (A)

A01	イチゴメジャーアレルゲン Fra a パラロ グの発現解析	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	石橋 美咲	1p
A02	アブシジン酸に着目した根寄生植物スト ライガの寄生戦略の解析	農学研究科	生命機能科学専攻	博士後期課程	藤岡 聖	1p
A03	原生生物を用いて自然免疫系の進化的起 源を探る	理学研究科	生物学専攻	博士後期課程	Mousumi Bhadra	2p
A04	質量分析法による細胞内情報伝達因子の 同定の試み	理学研究科	生物学専攻	博士前期課程	松本 中	2p
A05	シロイヌナズナのリン酸濃度応答遺伝子 の探索	理学研究科	生物学専攻	博士前期課程	鈴木 太郎	3p
A06	DNA のトポロジー状態がヌクレオチド 除去修復に及ぼす影響	理学研究科	生物学専攻	博士前期課程	多田 遥人	3p
A07	アブラナ科野菜における白さび病抵抗性 遺伝子の同定	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	宮路 直実	4p
A08	低分子量 G 蛋白質 RhoA の結合蛋白質の 探索と機能解析	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	櫛谷 晃帆	4p
A09	³ H-Tyrosine を用いたタンパク質分解抑 制効果を有する食品成分の探索とその分 子機構の解明	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	久保田 祐介	5p
A10	Rubisco の C ₄ 化による炭素固定反応エン ジニアリング	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	山本 滉樹人	5p
A11	異種複合体発現系を用いた Uphill 型光合 成反応の分子機構解析	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	橋本 佳奈子	6p
A12	デコイ分子を用いた Bacillus megaterium 由来シトクロム P450 モノオキシゲナー ゼによる CB118 の代謝とその構造基盤	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	後藤 絵里香	6p
A13	ウリ科植物の汚染物質輸送因子による PCB 同族体の選択的蓄積	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	磯野 絵梨香	7p
A14	α-トマチン代謝の多様性にかかわる酵素 遺伝子の解明	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	加藤 純平	7p
A15	青葉アルデヒドの生成に関わるヘキセナ ールイソメラーゼの同定と機能解析	農学研究科	生命機能科学専攻	博士後期課程	國嶋 幹子	8p
A16	ゼニゴケ無性芽の休眠に関連する遺伝子 の機能解析	理学研究科	生物学専攻	博士前期課程	吉川 実樺子	8p
A17	シロイヌナズナの酸化ストレス応答に関 わる 2-hexenal 受容体の探索	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	青木 仁美	9p

A18	CRISPR/Cas9によるジャガイモSGA生合成遺伝子CYP88B1のゲノム編集	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	秋山 遼太	9p
A19	MASCOT解析による(-)-Epigallocatechin-3-gallateの標的分子探索	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	池田 真規	10p
A20	タルホコムギのRNA-seq解析とそのデータのコムギゲノム解析への応用	農学研究科	生命機能科学専攻	博士後期課程	西嶋 遼	10p

機器分析部門 (B)

B01	新規放射線治療を志向した過酸化チタンナノ粒子に関する研究	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	鈴木 貴弘	11p
B02	核酸修飾プローブとAFM力計測によるペプチドセンシング	工学研究科	応用化学専攻	博士後期課程	竹中 武藏	11p
B03	PPh ₃ as a Highly Effective Ligand in the Deprotonative Polymerization of Chlorinated Bithiophene as a Monomer	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	中川 直希	12p
B04	クロロチオフェンを鍵とする、機能チューニング型ポリチオフェン合成	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	藤田 佳佑	12p
B05	5-アミノレブリン酸(ALA)の膜輸送機構～変異株における細胞内ALA濃度と遺伝子発現への影響	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	中来田 卓磨	13p
B06	5-アミノレブリン酸(ALA)の分子機能～ALA誘導性遺伝子による植物のストレス耐性増強	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	田中 節彦	13p
B07	ナノインプリント法によるグレーティング付き光導波路センサの作製	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	楠 達也	14p
B08	多層膜分光器を用いたアンジュレータ放射光照射による石英ガラスの屈折率制御	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	宮本 隆志	14p
B09	多価イオン照射によるカーボンナノチューブの構造変化	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	別宮 晃治	15p
B10						15p
B11	Kinetic Resolution of Heterobiaryl Derivatives with Winding-vine-shaped Molecular Asymmetry	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	丸橋 和希	16p
B12	MAC 88107 隕石のコンドリュール/リムの組織観察	理学研究科	惑星学専攻	博士後期課程	酒井 碧	16p
B13	Mokoia 隕石マトリックスの平板状オリビンの成因	理学研究科	惑星学専攻	博士前期課程	庄田 直起	17p
B14	Cytochrome b561 ホモログ 101F6 の癌抑制メカニズム解析	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	大塚 瑞樹	17p
B15	血液凝固因子フィブリノーゲンに見いだされたアミロイド線維形成阻害能	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	赤井 大気	18p

B16	低次元フラストレート磁性体 K ₂ Mn ₃ (OH) ₂ (VO ₄) ₂ の ESR 測定	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	藤本 雅哉	18p
B17	ファイバー状窒化ホウ素の作製とその発 光挙動	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	對馬 恵美	19p
B18	高周波誘導加熱による紫外/可視発光シ リカガラスの創製	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	永吉 佑	19p
B19	時間分解 EPR 法によるねじれたメビウ ス型ヘキサフィリンの励起三重項状態の 電子構造	理学研究科	化学専攻	博士後期課程	江間 文俊	20p
B20	酵素反応を利用した DNA-金ナノ粒子ハ イブリッドゲルの創製	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	永口 侑香	20p
B21	Poly(3-hexylthiophene)/graphene 複合体 の作製と導電性材料への応用	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	井口 博貴	21p
B22	重合性界面活性剤を用いた金属ナノ材料 の表面修飾法の開発	工学研究科	応用化学専攻	博士後期課程	東 千誠	21p
B23	人工生体膜とナノ空間を組み合わせた 1 分子計測技術の開発	農学研究科	生命機能科学専攻	博士後期課程	安藤 公二	22p
B24	超分子ゲル化剤の in-situ 合成による反応 場として応用可能な刺激応答性ゲル油滴 の作製	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	西田 雄貴	22p
B25	金属ナノ構造/シリコン量子ドット複合 体の発光特性評価	工学研究科	電気電子工学専攻	博士後期課程	井上 飛鳥	23p
B26	汎用プラスチック材料の表面機能化を目 的とした新規高分子塗布技術の開発	工学研究科	応用化学専攻	博士前期課程	西森 圭亮	23p
B27	Metal Nanoparticle over Mirror 構造にお ける Si 量子ドットの発光特性制御	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	八嶋 志保	24p
B28	化学ドーピングによるシリコンナノ結晶 コロイドの光学特性制御	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	堀 祐輔	24p
B29	磁場アセンブリ法による 2 次元ナノギャ ップ配列構造の自発的形成	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	瀧谷 昇哉	25p
B30	ボトムアップ法によるシリコンナノ結晶 を用いた単電子トランジスタの作製	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	東川 泰大	25p
B31	シリコンナノ結晶塗布薄膜における表面 状態と電気伝導特性の関係	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	松田 聡	26p
B32	有機色素脱色によるシリコン量子ドット の光触媒活性の評価	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	小島 拓也	26p
B33	有機分子による P, B 同時ドーピング Si ナノ 結晶の表面修飾	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	多田 康洋	27p
B34	ポーラスシリコンを用いた 3 次元微細曲 面構造の形成	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	棚橋 雄也	27p

B35	親水性高分子により基板と膜との距離を制御した人工膜への膜タンパク質再構成	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	田村 芙由子	28p
B36	金ナノキャップ構造の表面プラズモン共鳴による希土類ドーパナノ粒子のアップコンバージョン増強	工学研究科	電気電子工学専攻	博士前期課程	雛本 樹生	28p

極低温部門 (C)

C01	光反応性ルテニウム錯体系イオン液体の合成と反応性の評価	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	東 智美	29p
C02	効率的な炭素ラジカルの生成を目指した有機分子光触媒の開発	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	藪田 達志	29p
C03	効率的なシアノフロキサン合成法の開発	理学研究科	化学専攻	博士後期課程	安藤 祥大	30p
C04	アザクラウンエーテルを骨格に含むイオン液体の合成および熱物性	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	大場 友紀子	30p
C05	アルキニル基を有するフロキサン合成法の開発とその応用	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	江口 修平	31p
C06	光応答性一酸化窒素ドナーの開発	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	高沢 紗緒里	31p
C07	立方晶希土類化合物 $Ce_6Pd_{13}Zn_4$ が示す相転移と同型化合物の物性	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	大島 章弘	32p
C08	LaV_2Al_{20} の dHvA 効果	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	久保 智也	32p
C09	地磁気逆転期における中国黄土高原の冬季モンスーン強化	理学研究科	惑星学専攻	博士前期課程	上野 友輔	33p
C10	ヘムタンパク質モデル錯体ヘミンのテラヘルツ ESR 測定	理学研究科	物理学専攻	博士後期課程	岡本 翔	33p
C11	カンチレバーを用いた微小力測定装置の開発	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	堀江 秀和	34p
C12	圧力誘起超伝導体 CrAs の NMR による研究	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	松島 恵	34p
C13	CO ₂ 濃度変化に伴うシアノバクテリアの励起エネルギー移動の変化	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	藤本かおり	35p
C14						35p
C15	線虫 cytochrome b ₅₆₁ ホモログ Cecytb-2 の分子機能解明	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	藤村 美香	36p
C16	高感度 ESR 測定に向けたカスタムカンチレバーの作製	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	三木 俊裕	36p
C17	磁気共鳴力顕微鏡のためのピエゾ駆動ステージの開発	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	宮崎 晃和	37p

C18	THz 領域における圧力下 ESR 測定装置のスピギャップ系への応用	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	平尾 祐樹	37p
C19	マルチフェロイック物質 $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の高周波 ESR 測定	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	森満 新	38p
C20	OVA 誘導アレルギーモデルにおける F-フコイダンの抗アレルギー効果	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	坂口 香奈	38p
C21	S=1/2 反強磁性鎖 $\text{KCuMoO}_4(\text{OH})$ の ESR 測定	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	久保田 創	39p
C22	アリルイソチオシアネートおよびその代謝物の肝がん細胞に及ぼす影響	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	中村 紫乃	39p
C23	Collapse mechanism of small calderas: a case study of the Ohachidaira caldera, Hokkaido, Japan	理学研究科	惑星学専攻	博士後期課程	安田 裕紀	40p
C24	2次元正方格子磁性体 $\text{Sr}_2\text{MnO}_2\text{Cl}_2$ の高周波 ESR 測定 2	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	高橋 昭彦	40p
C25	Cytochrome b561 ホモログ・ヒト SDR2 タンパク質のヒト培養細胞内局在解析及び酵母 <i>Pichia pastoris</i> を用いた異種発現系の構築	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	東田 怜	41p
C26	広帯域誘電分光法及び赤外分光による有機イオンの水和水の動的挙動	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	奈良 隆史	41p
C27	熱電物質テトラヘドライトの NMR を用いた研究	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	松井 隆志	42p
C28	ルビーの蛍光を用いた圧力較正法の圧力下 ESR への応用	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	川崎 航平	42p
C29	新規電子受容性配位子の合成と性質	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	平野 真理	43p
C30	新規中性ヘテロレプティック鉄(III)錯体の協同的転移	理学研究科	化学専攻	博士前期課程	村田 優	43p
C31	三角格子反強磁性体 C_sCuCl_3 の圧力下 THz-ESR 測定	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	大木 瑛登	44p
C32	S=1/2 歪んだダイヤモンド鎖化合物 $(\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2(\text{H}_2\text{O})_x\text{X}_y)$ の高周波 ESR 測定	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	宮崎大輔	44p
C33	パターン化人工膜を用いた脂質ラフトによる光シグナル伝達制御機構の解明	農学研究科	生命機能科学専攻	博士後期課程	谷本 泰士	45p
C34	FANCD2 新規相互作用因子の探索と機能解析	理学研究科	生物学専攻	博士前期課程	後藤 元成	45p
C35	$\text{SmTa}_2\text{Al}_{20}$ の AI-NQR による研究	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	中瀬 迅	46p

C36	イバラキウイルスの構造タンパク質 VP3 の機能解析	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	佐久良 理沙	46p
C37	パターン化人工膜を利用した NAP-22 膜結合と凝集挙動解析	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	小嶋 佐妃子	47p
C38	二粒系コムギと野生 2 倍体コムギ <i>Aegilops umbellulata</i> の雑種生育不全における網羅的遺伝子発現解析	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	岡田 萌子	47p
C39	Land plants drive photorespiration as higher electron-sink: Comparative study of post-illumination transient O ₂ -uptake rates from liverworts to angiosperms through ferns and gymnosperms	農学研究科	生命機能科学専攻	博士前期課程	埴 仁美	48p
C40	野生イネおよび栽培イネの遺伝的背景における芒の長さを支配する遺伝子座の対立遺伝子間の相互作用	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	池本 麻衣	48p
C41	ジャポニカ型栽培イネ (日本晴) の非脱粒性に関与した遺伝子座の推定	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	辻村 雄紀	49p
C42	野生イネ <i>Oryza rufipogon</i> における穂の開帳性に関する遺伝子座と関連遺伝子の発現について	農学研究科	資源生命科学専攻	博士前期課程	西岡 諒	49p
C43	CeZn の強磁性量子臨界点の探索	理学研究科	物理学専攻	博士前期課程	宇賀 俊士	50p

加速器部門 (D)

D01	重イオンビームで照射したポリカーボネートの導電性に関する研究	海事科学研究科	海事科学専攻	博士前期課程	岩岡 恭平	51p
D02	核融合プラズマ診断のための高エネルギーガンマ線イメージング装置開発	海事科学研究科	海事科学専攻	博士前期課程	西村 洋亮	51p
D03	Transient heat transfer of FC-72 flowing upward in vertical minitubes	海事科学研究科	海事科学専攻	博士後期課程	李 延涛	52p
D04	NRBS を用いた核融合ブランケット候補材の CO ₂ 吸収特性評価	海事科学研究科	海事科学専攻	博士前期課程	中村 穂高	52p
D05	核融合プラズマ診断のための高エネルギーガンマ線計測技術	海事科学研究科	海事科学専攻	博士前期課程	宇都宮 匠	53p
D06	Numerical analysis of heat transfer within a prismatic Very High Temperature Gas-cooled Reactor	海事科学研究科	海事科学専攻	博士後期課程	王 麗	53p

A01

イチゴメジャーアレルゲン **Fra a** パラログの発現解析

石橋美咲、宇野雄一

農学研究科 資源生命科学専攻 博士前期課程

イチゴ (*Fragaria*×*ananassa*) により口腔アレルギー症状 (Oral Allergy Syndrome; OAS) を起こすケースがある。OAS の有症者は果実 (瘦果および果托) の摂取回避により対応する場合が多く、イチゴの消費低迷につながる恐れがある。この対応策としては、低アレルゲン性イチゴの品種育成、栽培管理による低アレルゲン化などが考えられるが、そのためには原因遺伝子およびタンパク質の発現様式や機能を把握する必要がある。本研究では、イチゴの器官別に **Fra a** の転写および翻訳産物の蓄積量を定量的に調査し、局在性を評価するとともに、各器官で発現しているパラログタンパク質を質量分析により同定した。

イムノブロットにより、果托で2本、瘦果で1本の **Fra a** と推定されるバンドを検出した。これらのバンドをゲルから切り出し、Orbitrap 質量分析で解析した結果、瘦果および果托から 56%および 66%の配列カバー率により **Fra a 1e** が同定された。また、果托特異的に **Fra a 2** が同定された (カバー率 61%)。タンパク質 1 μ g あたりの **Fra a 1** の蓄積量は、果托が瘦果よりも約 8 倍高かった。一方、各器官から RNA を抽出し、リアルタイム PCR および RNA-Seq によって転写産物を比較したところ、タンパク質の蓄積量とは異なる傾向を示した。以上より、**Fra a** は各パラログの転写翻訳レベルで器官ごとに機能を分化している可能性が示唆された。イチゴゲノムには多くの **Fra a** パラログが存在するが、有用農業形質を維持したまま低アレルゲン性イチゴを生産するためには、本研究で得られたパラログの分布と機能の情報に基づく取捨選択が必要と考えられた。

A02

アブシジン酸に着目した根寄生植物ストライガの寄生戦略の解析

藤岡聖、鮫島啓彰、水谷正治、杉本幸裕

農学研究科 生命機能科学専攻 博士後期課程

【背景】ストライガ (*Striga hermonthica*) はイネ科作物を宿主とする根寄生植物である。ストライガの寄生は宿主の収量を大きく低下させるため、アフリカの半乾燥地域の作物生産を阻害する深刻な要因となっている。ストライガは宿主よりも高い蒸散量を維持することで宿主の養水分を吸い上げると考えられている。発表者は昨年度の本研究会でストライガは宿主より高い蒸散を維持していること、気孔がアブシジン酸 (ABA) に応答しないことを報告した。しかし宿主の生育不良はストライガが地上に現れる前から認められる。このことからストライガは養水分収奪の前から宿主の生育を阻害すると考えられる。そこで昨年度の結果においてストライガの発芽種子が高濃度の ABA を蓄積していたことに着目し、ストライガの ABA が宿主の生長へ及ぼす影響を解析した。【結果・考察】発芽に伴うストライガ種子の ABA 蓄積量と分泌量を測定した。発芽刺激物質 GR24 を処理した結果、発芽に伴いストライガ種子の ABA 蓄積量と分泌量は急激に増加した。また ABA 分泌量は蓄積量の約 4 倍高かった。ストライガの発芽種子を宿主であるソルガムの根に接種した結果、接種後 8 日目からソルガムの草丈が有意に低下した。蒸散量を表す気孔コンダクタンスは接種後 2 日目から有意に低下した。ABA を含む水耕液中でソルガムを栽培した結果、1 μ M の ABA を与えた場合にソルガムの草丈と気孔コンダクタンスの有意な低下が認められた。以上の結果からストライガの発芽に伴い分泌される ABA は宿主の気孔の閉鎖を誘導し、宿主の生育を抑制していることが示唆された。

原生生物を用いて自然免疫系の進化的起源を探る

Mousumi Bhadra

理学研究科 生物学専攻 博士後期課程

ファゴサイトーシスは、非自己を認識することで誘導されるが、この機能は動物の自然免疫系において広く保存されている。自然免疫系におけるファゴサイトーシスは、病原性微生物の感染を防ぐうえで重要な役割を果たしている。病原性微生物の認識は、リポ多糖類やペプチドグルカン、 β -1,3 グルカンが、宿主の Toll 様受容体 (TLRs) やペプチドグルカン認識タンパク質、レクチンに結合することで非自己と認識され、ファゴサイトーシスが誘導されることが知られている。自然免疫系は海綿動物以降の生物で進化してきたと考えられているが (図 1)、ファゴサイトーシスは単細胞である原生生物でも認められる。本研究では、単細胞の原生生物の一種であるハリタイヨウチュウ *Raphidiophrys contractilis* に、 β -1,3 グルカンの認識が存在し、これを用いて、自己・非自己認識とエサの捕獲が行なわれていることを明らかにした。このことは、自然免疫系の進化的起源が原生生物にまでさかのぼれることを示している。

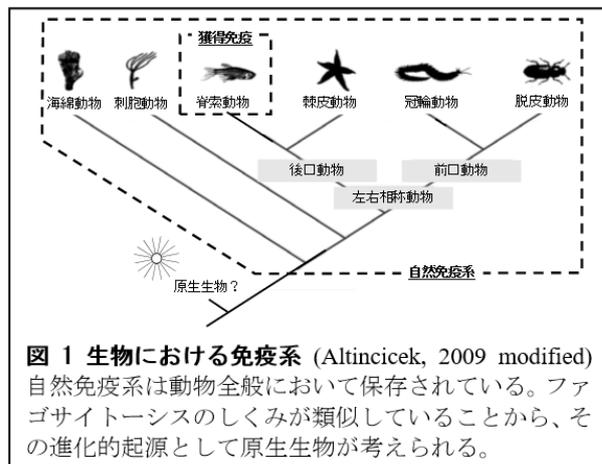


図 1 生物における免疫系 (Altincicek, 2009 modified)
自然免疫系は動物全般において保存されている。ファゴサイトーシスのしくみが類似していることから、その進化的起源として原生生物が考えられる。

質量分析法による細胞内情報伝達因子の同定の試み

松本 中¹、日下部良子²、柏崎 隼^{1,2}、宮本昌明^{1,2}

理学研究科 生物学専攻 博士前期課程¹、研究基盤センター アイソトープ部門²

真核生物の細胞は、膜構造からなる様々な細胞小器官を持っている。これら細胞小器官の間では、様々なタンパク質が情報伝達を担っている。中でも Rab ファミリー低分子量 G タンパク質は、シグナルのオンとオフを制御する“分子スイッチ”として働き、情報伝達において中心的な役割を果たしていることが知られている。しかし、Rab ファミリー低分子量 G タンパク質がどのような情報伝達因子にシグナルを伝達して細胞機能の制御に関わっているかについては不明な点が多い。

本研究では、Rab ファミリー低分子量 G タンパク質の 1 つであり、様々な細胞機能の制御に関与する Rab5 と相互作用する情報伝達因子を同定することを目的とした。方法としては、アフィニティタグを利用したプルダウンアッセイで Rab5 と相互作用するタンパク質を分離し、質量分析法によるプロテオーム解析を行うことでその同定を試みた。当初はプルダウンにおける様々な条件が最適でなかったため、質量分析法による情報伝達因子の同定が困難であった。そこで、アフィニティタグの種類や使用する細胞抽出液中のタンパク質量、溶出方法など様々な条件の検討を試みた。その結果、プルダウンアッセイを行うに当たっての適当と思われる条件を見出した。これにより質量分析法によるプロテオーム解析が可能となり、Rab5 と相互作用する細胞内情報伝達因子の候補を多数同定することに成功した。

A05

シロイヌナズナのリン酸濃度応答遺伝子の探索

鈴木太郎、大西美輪、三村徹郎

理学研究科 生物学専攻 博士前期課程

リンは植物成長に欠かせない多量栄養素の一つである。リンは土壌中に、可溶性無機リン酸、不溶性無機リン酸、有機リン酸などの形で存在するが、植物の利用可能なリン酸は限られており、リン不足は、窒素不足とともに野外の植物の主な成長律速要因である。農業生産への有用性などから、植物のリン酸欠乏の応答機構についてリン酸欠乏・リン酸充分の2条件を比較した研究が過去に多くなされてきた。しかしながら、リン酸欠乏土壌といってもそのリン酸濃度は様々であり、植物はリン酸濃度に応じて最適な生物応答を示していると考えられるが、その仕組みはよくわかっていない。我々は、シロイヌナズナをリン酸濃度のみを変化させた11種類の培地で水耕栽培し、成長状態の解析とトランスクリプトーム解析を行った。マイクロアレイ及び次世代シーケンスを用いた網羅的発現解析の結果から、リン酸濃度が低下するに従って発現が上昇する遺伝子を統計的に導き出すことができ、そのうちの多くがリン酸欠乏に応答することが知られている転写因子、リン酸輸送体、膜脂質合成酵素などの遺伝子であった。生重量や体内の可溶性無機リン酸濃度についても濃度依存的に変化し、リン酸欠乏応答性遺伝子の発現量との関係性が示唆された。今後はこれらのリン酸濃度依存的な変化が、実験室の土壌栽培や、野外土壌環境でも同様に生じるかどうかを確認する予定である。

A06

DNA のトポロジー状態がヌクレオチド除去修復に及ぼす影響

多田 遥人、大西 優貴、菅澤 薫

理学研究科 生物学専攻 博士前期課程

哺乳類のヌクレオチド除去修復(NER)は XPC 複合体が非対合塩基を認識・結合することで開始される。紫外線によって誘導される代表的な DNA 損傷として(6-4)光産物とシクロブタン型ピリミジン二量体(CPD)が知られているが、DNA 鎖に引き起こす歪みが比較的大きい(6-4)光産物が XPC によって容易に認識される一方、歪みが軽微な CPD の認識効率は非常に低い。細胞内で CPD を効率良く修復するためには、UV-DDB がまず損傷を認識した上でこれを XPC に受け渡す必要がある。

これまでの研究で、ヒト細胞粗抽出液を用いた無細胞 NER 反応では CPD の修復効率は極めて低いのに対して、XPC の結合の足場となる mismatches 塩基を CPD の 5'側に導入することで修復効率が劇的に上昇することが見出されていた。今回、精製した6種類の組換え NER タンパク質因子及び紫外線損傷を部位特異的に含む二本鎖閉環状 DNA を基質とした再構成系で同様の反応を行ったところ、mismatches 塩基による CPD 修復の促進に加え、CPD 単独でも比較的高い修復活性を示すことが分かった。この CPD 修復活性は、基質 DNA を直鎖状にした場合には見られなかったことから、DNA のトポロジー状態が NER 反応の効率に影響を与える可能性が考えられた。

今回は、二本鎖閉環状 DNA を基質とする再構成 NER 反応系を駆使し、生化学的な解析を進めた。

アブラナ科野菜における白さび病抵抗性遺伝子の同定

宮路直実¹、西本良太²、清水元樹³、安田(高崎)剛志²、土佐幸雄²、中馬いづみ²、藤本龍²

¹農学研究科資源生命科学専攻博士前期課程、²神戸大学大学院農学研究科、³岩手生物工学研究所

Albugo candida によって引き起こされる白さび病は、*Brassica rapa* L. に含まれるコマツナ、ハクサイなどを栽培する上で重大な病害であるが、抵抗性遺伝子は未だ同定されていない。そこで本研究では、白さび病に抵抗性を示すコマツナの市販品種が持つ白さび病抵抗性遺伝子の同定を目的に実験を行った。

まず、白さび病抵抗性遺伝子の遺伝様式を調べるため、白さび病抵抗性品種の自殖集団 100 個体以上に対して接種試験を行い、抵抗性個体と感受性個体の比率を求めた。その結果、[抵抗性]:[感受性]=3:1 に分離を示したことから、本抵抗性遺伝子は単因子優性遺伝子であることが明らかになった。

次に本抵抗性遺伝子を、次世代シーケンサーを用いた QTL-seq 法で同定するため、接種試験の中から、高度に抵抗性を示した 15 個体 (R-bulk) と完全に感受性を示した 15 個体 (S-bulk) を選抜し DNA を抽出した。両バルク DNA 配列を HiSeq2000 によって決定し、得られたシーケンスをそれぞれリファレンスゲノムにマッピングし、SNPs (一塩基多型) を同定した。なお、両バルク DNA ともに全ゲノム配列の約 25 倍のカバレッジに相当する 13Gbp のシーケンスを決定している。両バルク DNA 間の各 SNPs の位置について、SNPs の比率 (SNP-index) を算出した後、 $\Delta\text{SNP-index}$ ($\text{SNP-index (R-bulk)} - \text{SNP-index (S-bulk)} = \Delta\text{SNP-index}$) を算出したところ、第 5 染色体においてのみ有意な $\Delta\text{SNP-index}$ を示す領域が検出された。よって、第 5 染色体に白さび病抵抗性遺伝子が座乗していることが示唆された。

低分子量 G 蛋白質 RhoA の結合蛋白質の探索と機能解析

榎谷晃帆¹、上田修司¹、加藤良毅¹、吉野健一^{2,3}、竹内敦子⁴、山之上稔¹、白井康仁¹

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程¹、神戸大・バイオシグナル²、神戸大・院医³、
神戸薬大・中央分析室⁴

低分子量 G 蛋白質 RhoA は骨格筋の発達に不可欠であることが、IGF-1 による筋肥大における RhoA の役割は不明である。本研究では、大腸菌ビオチン修飾酵素の基質特異性を欠損させた改変型 BirA 変異体 (Roux et al. J Cell Biol 2012) を用いたビオチン酵素標識法 (BioID) を採用し、BirA 融合 RhoA を用いた結合蛋白質の探索を試みた。BirA 融合 RhoA (野生型)、または RhoA 常時活性型変異体 (G14V) を 293T 細胞に過剰発現させ、ビオチン添加培地で 24 時間培養し、RhoA と相互作用する蛋白質を *in vivo* においてビオチン標識した。ビオチン標識蛋白質は、Tamavidin 2-REV ビーズで精製し、HRP 標識ストレプトアビジンで検出した。蛋白質の同定は、銀染色後、バンドを切り出し、トリプシンを用いたゲル内消化後の試料を、ナノ高速液体クロマトグラフィータンデム質量分析に供することで行った。その結果、BirA 融合 RhoA (G14V) 発現細胞では、既知のエフェクター分子を検出することができ、BioID の有効性が示された。質量分析による解析では、エフェクター分子、GEFs に加え、これまで RhoA と相互作用が示されていない複数の蛋白質が同定された。これらの蛋白質のうち、Ste20 like protein kinase (SLK) は、特に emPAI 値が高く、RhoA との相互作用が強く示唆された。SLK と RhoA は、共に骨格筋の分化・増殖肥大において重要な機能を果たすことから、現在、C2C12 筋芽細胞株を用いて RhoA と SLK の相互作用の役割について検討している。

A09

³H-Tyrosine を用いたタンパク質分解抑制効果を有する食品成分の探索とその分子機構の解明

久保田祐介、芦田均

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

【目的】近年、食品成分の摂取による筋萎縮の予防対策が注目されている。筋萎縮は、筋肉細胞内のタンパク質分解の促進によって生じる。そこで、ポリフェノールを対象にスクリーニングを行った結果、glabridin がタンパク質分解を抑制することを見出したのでその分子機構の解明を試みた。【方法】タンパク質合成の評価には、glabridin を C2C12 細胞に作用させ、1.0 μ Ci L-[3,5-³H]-tyrosine を培地に添加した後に新たに合成したタンパク質の放射活性を測定した。一方、タンパク質分解の評価には、予め 1.0 μ Ci L-[3,5-³H]-tyrosine でラベルした細胞にデキサメタゾン (Dex) を作用させ、培地中に放出された放射活性をラベルされたタンパク質の分解量として測定した。ユビキチンプロテアソーム経路に関わる因子の発現量やリン酸化レベルをウエスタンブロッティングにより評価した。glucocorticoid receptor (GR) の核内移行は蛍光免疫染色によって観察した。【結果】Dex 誘導性筋タンパク質分解を抑制する食品成分として glabridin、4-hydroxyderricin、ならびに xanthoangelol を見出した。これらの内 glabridin に着目し、分子機構を検討したところ、Dex によって誘導された p38、ならびにその下流因子である Foxo3a の活性化を抑制していた。また、GR の Dex による核内移行は、glabridin の前処理によって抑制された。これらによって発現が制御されている MuRF-1 と cbl-b の発現量を減少させることが明らかとなった。以上のことから、glabridin は Foxo3a と GR の二つの経路を介し、ユビキチンプロテアソーム経路を制御することで筋タンパク質の分解抑制効果を有することが明らかとなった。

A10

Rubisco の C₄化による炭素固定反応エンジニアリング

山本滉樹人・深山浩

農学研究科 資源生命科学専攻 博士前期課程

リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ (Rubisco) は、リブローズビスリン酸に CO₂ を付加し、2 分子のホスホグリセリン酸を生成する反応を触媒する酵素である。この Rubisco の触媒反応は非常に遅く光合成の律速因子となっており、植物は多量の Rubisco を葉に蓄積している。Rubisco の酵素特性には種間差があり、CO₂ 濃縮回路を持つ C₄ 植物は触媒速度の高い Rubisco を持ち Rubisco 含量も少ないことが知られている。しかしながら触媒速度と CO₂ に対する親和性にはトレードオフの関係がある。よって触媒速度の高い高活性型 Rubisco は、CO₂ に対する親和性が低く、CO₂ 濃縮回路を持たない C₃ 植物にとって、現在の大気 CO₂ 濃度環境下では有利とはいえない。しかし、大気 CO₂ 濃度は急激に増加しており、将来的な高 CO₂ 環境下ではイネなどの C₃ 植物においても高活性型 Rubisco を持つ方が有利に光合成をおこなえると考えられる。我々は C₃ 植物であるイネに、C₄ 植物ソルガムの Rubisco 小サブユニット (RbcS) を高発現させることで、イネ Rubisco の触媒速度を約 50% 増加させることに成功した。このソルガム RbcS 高発現形質転換イネでは、イネ RbcS とソルガム RbcS が両方も発現している。ソルガム RbcS のみを発現させるため、また C₄ 植物のように Rubisco 含量を適度に減少させるために、RNAi 法、CRISPR/Cas9 法を用いてイネ RbcS の発現レベルの調節を試みている。

A11

異種複合体発現系を用いた Uphill 型光合成反応の分子機構解析

橋本佳奈子¹、秋本誠志²、大友征宇³、永島賢治⁴、大野隆¹、木村行宏¹

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程¹、神戸大院・理²、茨城大・理³、神奈川大⁴

紅色光合成細菌 *Tch. tepidum* の光捕集 1 複合体(LH1)は他の紅色細菌よりも低エネルギーの近赤外光を吸収し、反応中心複合体(RC)から LH1 へのエネルギー勾配を逆る uphill 型光合成反応を可能にしている。この特性には、LH1 の C 末端部位に結合する Ca²⁺が密接に関与しているが、その詳細な分子機構は不明である。一方、*Tch. tepidum* 由来 LH1 と *Rba. sphaeroides* 由来 RC をヘテロ発現させた複合体 (TS2) では、*Tch. tepidum* よりもさらにエネルギー差の大きい uphill 型光合成反応の解析が可能である。本研究では、TS2、*Tch. tepidum*、*Rba. sphaeroides* の比較研究に基づいた LH1 の低エネルギー吸収特性および uphill 型光合成反応の分子機構における Ca²⁺の役割解明を目的とした。TS2 由来 LH1 は *Tch. tepidum* 同様、915nm 付近に Ca²⁺ 依存的な Q_y 吸収ピークを示した。近赤外共鳴ラマン及び灌流誘起 FTIR 分析の結果から TS2 と *Tch. tepidum* が極めて類似した BChl-*a* 配向状態及び Ca²⁺結合サイトを有することが判明した。各種分析の結果、TS2 ではスフェロイデン、*Tch. tepidum* ではスピリロキサンチンが主要カロテノイドであった。カロテノイドから BChl-*a* へのエネルギー移動効率は *Rba. sphaeroides* > TS2 > *Tch. tepidum* であり、スフェロイデンの系で高効率であった。一方、時間分解蛍光スペクトルより、LH1 から RC へのエネルギー移動速度は *Rba. sphaeroides* > *Tch. tepidum* > TS2 であった。以上の結果から、TS2 ではエネルギー移動は遅いが、スフェロイデンを介した効率的なエネルギー移動により uphill 型エネルギー移動を可能にしていることが示唆された。

A12

デコイ分子を用いた *Bacillus megaterium* 由来シトクロム P450 モノオキシゲナーゼによる CB118 の代謝とその構造基盤

後藤絵里香、乾秀之

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

残留性有機汚染物質に分類されるコプラナーポリ塩化ジフェニル (PCB) は、使用が禁止された現在でも環境中に残留しており、食物連鎖による生体への蓄積とその毒性が社会的な問題となっている。PCB 同族体の中でも 2,3',4,4',5-ペンタクロロビフェニル (CB118) は大気、水質、底質、生物から最も高濃度で検出されている。

PCB を代謝する酵素として哺乳類のシトクロム P450 (P450 または CYP) モノオキシゲナーゼが知られている。土壌細菌 *Bacillus megaterium* に発見された P450BM3 は長鎖脂肪酸の垂末端部位を水酸化する酵素であり、既知のシトクロム P450 の中で最も酵素反応速度が高いと言われている。先行研究で P450BM3 に対してそれ自身は反応を受けないが、長鎖脂肪酸と構造が類似しているために P450BM3 が基質と勘違いして取り込み、反応を開始するデコイ分子を利用し、本来の基質以外の物質を水酸化する反応系が開発された。本研究ではデコイ分子による P450BM3 の誤作動を利用した反応系を用いて PCB を効率よく代謝、分解する方法を開発する。

CB118 は P450BM3 によって 3 種の 5 塩素水酸化物に代謝された。この反応はデコイ分子としてペルフルオロオクタノ酸 (PFCA-C8) を基質と同時に添加した際に、最も促進された。さらに P450BM3、CB118、PFOA のドッキングモデルを構築し、デコイ分子による PCB 代謝に関わる構造基盤を解明した。

A13

ウリ科植物の汚染物質輸送因子による PCB 同族体の選択的蓄積

磯野絵梨香、乾秀之

農学研究科 生命機能科学専攻 博士課程前期

ポリ塩化ビフェニル(PCB)は保有する塩素の数やその位置の違いにより多数の異性体が存在する。かつてコンデンサなどとして用いられたが、その化学的安定性により環境中に残留しやすく、また脂溶性が高いため食物連鎖を通してヒトや野生生物に高濃度で蓄積し、様々な毒性を示す。一般的に植物は PCB のような高脂溶性化合物を取り込むことができないが、ウリ科植物、特にズッキーニは吸収・蓄積することが知られている。PCB 高蓄積ズッキーニ品種 Gold Rush(GR)は低蓄積品種 Patty Green(PG)と比較して、根における濃度は顕著な差がないのに対して地上部における濃度は高くなっていた。このことから、ズッキーニは PCB を根から地上部へ輸送するメカニズムを持っていることが示唆された。本研究では、ズッキーニにおける PCB 同族体の選択的な蓄積に関与している因子について示す。

PCB を添加した水耕液において PG 品種と GR 品種を栽培したところ、PG 品種における PCB の脂溶性と生物濃縮係数(BCF)には負の相関があった。一方、GR 品種はオルト位置換 PCB 同族体を選択的に蓄積した。根から地上部への物質輸送を担う導管液から、メジャーラテックスライクプロテイン(MLP)が同定された。ズッキーニ品種における導管液中の MLP 量は PCB の BCF と正の相関がみられ、さらに導管液中の MLP は PCB と結合した。これらの結果から、ズッキーニにおける PCB 輸送能・選択的蓄積には MLP が関与していることが示唆された。

A14

α -トマチン代謝の多様性にかかわる酵素遺伝子の解明

加藤純平、李榮宰、渡辺文太、中安大、小林緑、飯島陽子、村中俊哉、杉本幸裕、水谷正治
農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

α -トマチンはトマト (*Solanum lycopersicum*) の未熟果実や葉、花、根に多く蓄積しているステロイドグリコアルカロイドであり、動物や昆虫、微生物に対して毒性を示すことから生体防御物質であると考えられている。未熟果実中の α -トマチンは、果実登熟過程で無味無毒なエスクレオシド A へと代謝される。この代謝にはトマチンの 23 位水酸化、アセチル化、27 位水酸化、および配糖化が関わると推定され、初発反応の 23 位水酸化反応は 2 オキソグルタル酸依存性ジオキシゲナーゼである 23DOX が触媒することが分かっている。

トマトゲノムには 23DOX のホモログが複数存在しているが、その機能は明らかとなっていない。23DOX ホモログである DOX2 組換え酵素による α -トマチンの代謝物を LC-MS を用いて分析した結果、南米原産の野生種トマト *S. habrochaites* に蓄積する Habrochaitoside A [1]と類似した酵素反応生成物を生成することが示唆された。そこで、トマチンを基質として DOX2 組換え酵素による酵素反応物を大量調製および精製し、NMR による構造解析を行った。その結果、DOX2 が Habrochaitoside A synthase (HCS) であることが明らかとなった。

また、*in vivo* における機能解析として、HCS 遺伝子についてトマト野生種の各組織での発現様式の解析、および内生のステロイドグリコアルカロイド含量の定量を行った。

[1] Iijima et al., *Phytochemistry* 95: 145-157, 2013

A15

青葉アルデヒドの生成に関わるヘキセナールイソメラーゼの同定と機能解析

國嶋幹子、山内靖雄、水谷正治、杉本幸裕
農学研究科 生命機能科学専攻 博士後期課程

3-ヘキセナールと2-ヘキセナールに代表されるC6化合物群は傷害を受けた植物において生成量が増加し、防御応答遺伝子の発現を誘導することが報告されている。なかでも、青葉アルデヒドとも呼ばれる2-ヘキセナールはタンパク質の安定化や抗酸化系の活性化に関わる遺伝子発現を誘導する。3-ヘキセナールはチラコイド膜を構成するリノレン酸から酵素的に生じる。2-ヘキセナールは3-ヘキセナールの異性化によって生じると考えられているが、その詳細は未解明である。本研究は、2-ヘキセナールの生合成に関わるヘキセナールイソメラーゼ(HI)の同定とその機能解析を目的としている。

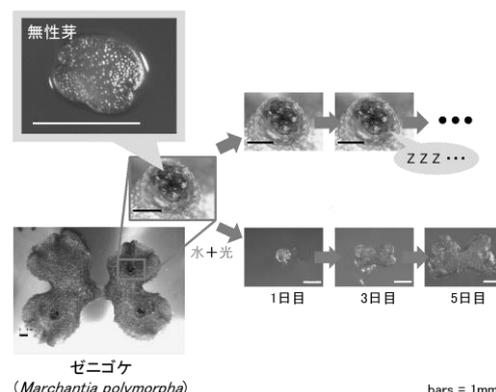
2-ヘキセナールは果実の成熟に伴って増加することが報告されていたので、さまざまな果実のヘキセナールイソメラーゼ活性を調べた。最も高い活性を有したパプリカ果実より酵素を精製し、部分アミノ酸配列を得て、それに基づいて酵素遺伝子を同定した。系統樹を作製し、相同性を示した遺伝子について組換え酵素を作製し活性を測定した結果、ナス科とマメ科、ウリ科、イネ科由来の遺伝子が活性を有する酵素をコードしていることが明らかとなった。パプリカ由来 HI 過剰発現形質転換トマトにおいて3-ヘキセナールに対する2-ヘキセナールの割合が増加したことから *in vivo* でも HI として機能していること明らかとなった。パプリカとトマトに対して傷害ストレスを与えたところヘキセナールイソメラーゼ遺伝子の発現量の増加が認められたことから、本酵素が傷害ストレスの防御応答に関与していることが支持された。

A16

ゼニゴケ無性芽の休眠に関連する遺伝子の機能解析

吉川実樺子、塚本成幸、深城英弘、三村徹郎、石崎公庸
理学研究科 生物学専攻 博士前期課程

植物の種子はその生命活動を停止して休眠しており、よい環境条件（温度、水、光）がそろえば活動を再開して発芽する。原始的な陸上植物であるゼニゴケは、種子植物の種子と似たような「無性芽」という器官を杯状体とよばれる器官の中に数多く形成することによって、受精することなく繁殖している。無性芽は杯状体内で休眠し適切な環境で発芽する、という点において、種子に似た性質をもっているといえる。本研究において、ゼニゴケ無性芽の休眠に重要な役割をもつことが示唆される遺伝子 *MpbHLH040* の機能を破壊した変異体 *MpbHLH040^{KO}* をジーンターゲットング法によって作出した。デジタルマイクロスコプで変異体を観察したところ、杯状体中の無性芽が顕著に発芽している表現型が観察された。また、被子植物の成熟した種子において蓄積していることが知られている LEA(Late Embryogenesis Abundant)タンパク質と推定される熱安定可溶性タンパク質の蓄積量が、*MpbHLH040^{KO}* の無性芽で減少していることが明らかとなった。



A17

シロイヌナズナの酸化ストレス応答に関わる 2-hexenal 受容体の探索

青木仁美、東山真理、山内靖雄、水谷正治、杉本幸裕
農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

強光、乾燥、高温などの環境ストレスを受けた植物体中では、光合成の機能不全に起因して葉緑体内で過剰に生成される活性酸素により、酸化ストレスが併発する。活性酸素は膜脂質多価不飽和脂肪酸を過酸化することで、 α, β -不飽和カルボニル結合をもつ直鎖カルボニル(RSLV)を生成する。2-hexenal をはじめとする RSLV は、環境ストレス応答遺伝子の発現を誘導する強力なシグナルとして働くことから、環境応答情報伝達機構の一端を担っていると考えられている。しかし、酸化ストレス応答に関わる 2-hexenal 情報伝達系の詳細は明らかでない。そこで、本研究はこの情報伝達系の解明に繋がる 2-hexenal 受容体の探索を目的として、7 回膜貫通型受容体(7TM)に着目した。シロイヌナズナの 7TM 遺伝子欠損株全 33 系統に 2-hexenal を処理した際、酸化ストレス応答マーカー遺伝子である *ZAT10* の遺伝子発現量が、野生型である *col-0* と比較して 50% 以下に低下した *Cand1,6,7,8* の 4 系統を選抜した。選抜された 7TM が 2-hexenal との結合に関与するかを *in vitro* で評価するため、昆虫細胞異種発現系により組み換え 7TM を作成し、RI 標識した 2-hexenal を用いて結合実験を行った。その結果、*Cand1,8* が ^3H -2-hexenal との高い結合能を示し、非標識 2-hexenal により競争的に阻害された。また、 ^3H -2-hexenal の結合は *ZAT10* 誘導能を持たない 3-hexenal では阻害されなかったことから、*Cand1,8* が 2-hexenal と特異的に結合することを確認した。以上の結果から、シロイヌナズナの酸化ストレスシグナル伝達系には、植物 7TM である *Cand1, Cand8* が受容体として機能する情報伝達系の存在が示唆された。

A18

CRISPR/Cas9 によるジャガイモ SGA 生合成遺伝子 *CYP88B1* のゲノム編集

秋山遼太, 中安大, 李榮宰, 刑部敬史, 刑部祐里子, 梅基直行, 村中俊哉, 斉藤和季, 杉本幸裕, 水谷正治
農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

【目的】ジャガイモには α -Solanine、 α -Chaconine といった有毒なステロイドグリコアルカロイド (SGA) が多く含まれている。SGA はコレステロールを前駆物質として生合成される。機能未知シトクロム P450 である *CYP88B1* は既知の SGA 生合成遺伝子と共発現し、RNA 干渉法による *CYP88B1* 遺伝子発現抑制ジャガイモでは内生 SGA 量が大きく低下することから、*CYP88B1* は SGA 生合成に関わると推定される。さらに *CYP88B1* 発現抑制ジャガイモはステロイドサポニンを蓄積する。ステロイドサポニンは医薬品の合成原料になり、様々な生理活性を示す有用な化合物である。そこで、本研究では有毒 SGA から有用ステロイドサポニンへの代謝変換を目的に、CRISPR/Cas9 を用いたジャガイモ *CYP88B1* 遺伝子のゲノム編集を行った。

【結果】ジャガイモ *CYP88B1* のエクソン領域からデザインした guideRNA を挿入した CRISPR/Cas9 ベクターを構築し、*Agrobacterium rhizogenes* へ導入し、形質転換毛状根を作成した。得られた形質転換毛状根からゲノム DNA を抽出し標的領域の配列解析を行った結果、*CYP88B1* に欠損変異の入った毛状根を複数ライン得ることができた。得られた *CYP88B1* ノックアウト毛状根の内生代謝物を分析した結果、SGA は検出されず、窒素を含まないステロイドサポニンが多量に蓄積していた。以上の結果、CRISPR/Cas9 系を用いることで、ジャガイモにおいて *CYP88B1* ノックアウト毛状根を作製し、有毒 SGA から有用ステロイドサポニンへの代謝変換が達成された。

A19

MASCOT 解析による(-)-Epigallocatechin-3-gallate の標的分子探索

池田真規、芦田均

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

【目的】茶カテキンである(-)-Epigallocatechin-3-gallate(EGCg)は、PI3K や AMPK を介して糖輸送担体 4 型 (GLUT4)の細胞膜移行を誘導することが知られています。しかし、上流の作用機構、特に標的分子は不明である。そこで本研究は、GLUT4 の細胞膜移行を促進させる EGCg の標的分子の探索を試みた。

【方法】EGCg とタンパク質との結合ならびに結合の強弱を評価するために、レドックスサイクリング染色法を用いた。まず、レドックスサイクリングの染色条件と脱色条件についてカテキン標的分子のモデルタンパク質として知られる、ウシ血清アルブミン (BSA) を用いて検討した。次に、L6 細胞 (in vitro) ならびにラットより摘出した骨格筋組織 (in vivo) を用いて全タンパク質画分、細胞膜画分、細胞質画分に分画した後、EGCg (5 μ M-500 μ M) を 15 分間作用させ、電気泳動を行った後に、レドックスサイクリング染色を行った。染色された位置のバンドをゲルから切り出し、タンパク質をトリプシン消化し、質量分析計 (LC-MS/MS) に供することで、MASCOT 解析を行い標的候補分子の同定を試みた。

【結果】*In vitro* ならびに *in vivo* で筋肉の全タンパク質画分、細胞膜画分、細胞質画分に EGCg を作用させ、電気泳動した後にレドックスサイクリング染色を行ったところ、6 か所のバンドが確認された。MASCOT 解析に供したところ、40KDa 付近において、標的候補分子として、膜タンパク質 Adhesion G protein-coupled receptor L2 と膜関連タンパク質 Serine-threonine kinase receptor-associated protein を見出した。

A20

タルホコムギの RNA-seq 解析とそのデータのコムギゲノム解析への応用

西嶋遼、吉田健太郎、宅見薫雄

農学研究科 生命機能科学専攻 博士後期課程

パンコムギは、A と B の 2 つのゲノムからなる栽培二粒系コムギに、D ゲノムをもつ 2 倍体野生種であるタルホコムギの花粉が交雑して成立した異質 6 倍体である。人為的に二粒系コムギとタルホコムギを交雑することで育成された異質 6 倍体は合成パンコムギと呼ばれ、タルホコムギの遺伝的多様性の育種利用に用いられる。二粒系コムギとタルホコムギの特定の系統間での雑種世代では様々な生育不良がみられ、タルホコムギ遺伝子の利用の妨げとなっている。このような雑種不全の原因遺伝子やタルホコムギの有用遺伝子の同定に向けて、本研究ではタルホコムギのゲノム全体を網羅する多型ライブラリーを整えることを目的に研究を行った。その結果、10 系統のタルホコムギの RNA を MiSeq により解析することで、系統間あたり平均 28,594 の一塩基多型が検出された[1]。次にこの多型ライブラリーの有効性を確認するために、雑種不全の原因遺伝子 *Net2* について連鎖マーカーの開発を行った。合成パンコムギ分離集団に由来し異なる表現型を示す個体のバルク RNA を MiSeq で解析し、多型ライブラリーを利用して *Net2* 遺伝子に密接連鎖した多型を検出した。その結果、*Net2* 遺伝子座に連鎖する多型が 11 個見つかった。よって、タルホコムギの多型ライブラリーは 6 倍体合成コムギのゲノム解析にも有効であることが確認できた。

[1] Nishijima R, Yoshida K, Motoi Y, Sato K, Takumi S (2016) Mol Genet Genomics 291:1681–1694

B01

新規放射線治療を志向した過酸化チタンナノ粒子に関する研究

鈴木貴弘¹、森田健太¹、西村勇哉²、荻野千秋¹、近藤昭彦^{1,2*}

¹工学研究科・応用化学専攻、²神戸大・科学技術イノベーション研究科

近年、すい臓がんなどの低酸素腫瘍に対して放射線感受性を増大させつつ、周囲の正常組織へのダメージを最小限に抑える、放射線増感治療の研究が行われている。本研究室では、TiO₂ ナノ粒子を過酸化およびポリアクリル酸により高分散させたナノ粒子(TiO_x)を用いた放射線増感治療に着目している。これまで、TiO_x と放射線の併用による治療効果が担ガンマウスを用いた *in vivo* 系において確認されている。[1] しかし、臨床応用には更なる有効性の向上が求められる。そこで、本研究では安全性評価や体内動態の解明および粒子改変によるガン細胞への特異的デリバリーの開発を行った。TiO_x を担ガンマウスに投与して、ICP-AES により各臓器の Ti を定量した結果、大部分は肝臓に移行したが、腫瘍における特異的な蓄積も観察された。これは、TiO_x の粒子径(100nm)により EPR 効果が発現したものだと考えられる。続いて、更なる腫瘍への粒子蓄積を狙うべく、ガン細胞表面に過剰発現している EGF 受容体(FGFR)に特異的結合する抗体を遺伝子組換え大腸菌により作製した(1a)。そして、作製した抗体をアミンカップリング法により TiO_x 表面に修飾した(TiO_x/1a)。まず、細胞を用いた *in vitro* 系において、TiO_x/1a の有用性を検証したところ、EGFR 過剰発現ガン細胞に対する特異的な取り込みや、放射線との併用による抗腫瘍効果が確認された。現在、*in vivo* 系における特異的送達の検証を行っており、本発表で併せて報告する予定である。

[1] Nakayama, M., et al, (2016) *Radiation Oncology*, 11(1):91

B02

核酸修飾プローブと AFM 力計測によるペプチドセンシング

竹中武蔵、網野智一、宮地佑典、荻野千秋、近藤昭彦

工学研究科 応用化学専攻 博士後期課程

核酸アプタマーを修飾したプローブを用いた AFM 力計測によるセンシング技術を開発した。核酸アプタマーは、特定の分子に特異的に結合できる一本鎖の DNA や RNA であり、抗体分子に代替する分子として期待されている。AFM の実験系においてプローブと基板の間で、二種類の核酸アプタマーで挟み込むセンシングを新たに開発した。本研究では、ソマトスタチン (SST) をモデル標的ペプチドとした。核酸ライブラリーから二種類の SST 結合核酸アプタマーを選抜

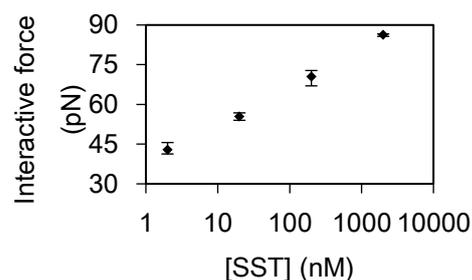


図 1. 濃度センシング

して、一方を基板に修飾して、他方をプローブに修飾した。SST の濃度を調整した溶液中において力計測を行った結果、SST 濃度に対して力が増加した (図 1)。また、核酸アプタマーを分割して、それぞれで挟み込むセンシングにおいても、SST 濃度増加に応じた平均の力が増加した。結果として、核酸アプタマーと AFM を用いることで、ペプチドを低濃度でもセンシング可能であることを示した。さらに、統計解析から一分子単位での検出可能性を示せた。

B03

PPh₃ as a Highly Effective Ligand in the Deprotonative Polymerization of Chlorinated Bithiophene as a Monomer

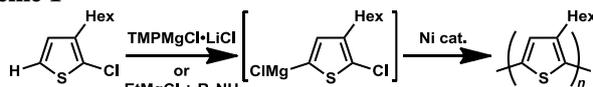
Naoki Nakagawa¹, Tadayuki Ogura¹, Keisuke Fujita¹, Takayoshi Hashimoto², Kentaro Okano¹, and Atsunori Mori¹
 Department of Chemical Science and Engineering¹, Center for Supports to Research and Education Activities²

We have shown recently that deprotonative metalation with a bulky magnesium amide TMPMgCl·LiCl (TMP: 2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-yl) or the combination of a Grignard reagent with a catalytic amount of secondary amine serves as an effective polythiophene synthesis (Scheme 1).¹

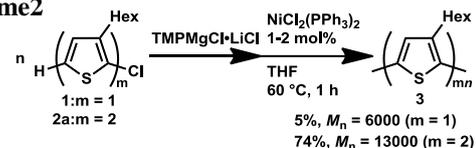
We herein describe that metalated halo-bithiophene and oligothiophenes are highly reactive monomers compared with related 2-halo-5-metallothiophenes and thus allows polymerization even with NiCl₂(PPh₃)₂ catalyst. In the polythiophene synthesis a nickel(II) or palladium(II) catalyst bearing bidentate diphosphines or *N*-heterocyclic carbene (NHC) as a ligand efficiently underwent polymerization whereas a ubiquitous metal complex NiCl₂(PPh₃)₂ or PdCl₂(PPh₃)₂ is mostly ineffective for the polythiophene synthesis. When polymerization of bithiophene **2a** was carried out with 2.0 mol% NiCl₂(PPh₃)₂, the corresponding polymer **3** was obtained in 74% yield (93% conversion) at 60 °C for 1 h (Scheme 2). The molecular weight of NiCl₂(PPh₃)₂ was estimated to be $M_n = 13000$ ($M_w/M_n = 1.67$).

[1] Tamba, S.; Shono, K.; Sugie, A.; Mori, A. *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 9700.

Scheme 1



Scheme 2

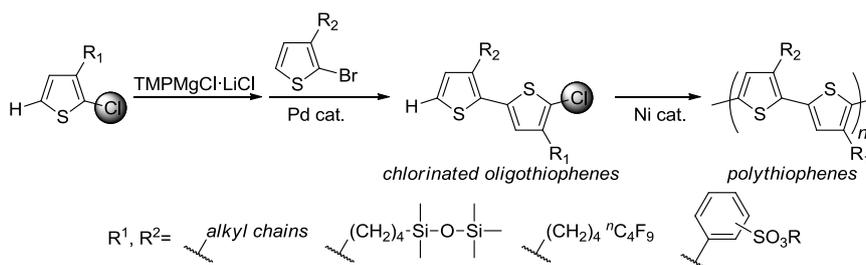


B04

クロロチオフエンを鍵とする、機能チューニング型ポリチオフエン合成

藤田佳佑、中川直希、小倉忠之、岡野健太郎、森敦紀
 工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程

ポリチオフエンに代表される π 共役系が拡張したヘテロ芳香族化合物は、有機 TFT や有機 LED などの電子材料に用いられる素材として注目されている。当研究室ではニッケル触媒を用いた C-H カップリングによるオリゴチオフエン及びポリチオフエンの効率的な合成を報告している。本研究では様々な置換基を有するオリゴチオフエンの合成と、それをモノマーとする新規ポリチオフエンの合成を行った(scheme 1)。その結果、パラジウム触媒を用いた場合に重合可能な構造を有するオリゴチオフエンが 1 段階で得られ、様々な置換基を有するポリチオフエンの合成を達成した。さらに本手法で合成するポリチオフエンはそのモノマー構造の多様性により、機能チューニングが可能であることが判明した。



Scheme 1. Synthesis of differently-substituted chlorobithiophenes and polythiophenes

5-アミノレブリン酸(ALA)の膜輸送機構 ～変異株における細胞内 ALA 濃度と遺伝子発現への影響

中來田卓磨¹, 黒田修司², 小西真帆³, 寺下和輝³, 山形裕士⁴, 宇野知秀⁴, 金丸研吾^{1,4}
農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程¹, 神戸大・先端融合研究環², 神戸大・農³, 神戸大院・農⁴

5-アミノレブリン酸 (ALA) は、ヘムやクロロフィルなどのテトラピロール化合物生合成の共通前駆体である。植物では低濃度の ALA 投与で成長促進効果, 高濃度の投与で光傷害誘導による枯死効果, 中濃度の投与で環境ストレス耐性向上効果がみられ, 様々な生理効果を示すことがわかっている。そこで我々は ALA の更なる産業利用を目的としたいくつかの基盤研究を進めており, そのひとつである ALA トランスポーターの同定と機能解析は, 植物アミノ酸輸送系の新たな一例となるだけでなく, ALA の生理効果を最大化する基盤的知見として農業分野に貢献できる。

本研究では, シロイヌナズナ ALA トランスポーターの候補遺伝子を、動物 ALA トランスポーターでの構造的・機能的特徴を基に選択、これら候補遺伝子の T-DNA 挿入変異株に高濃度 ALA を投与し、強光下で ALA 耐性を示す ALT1 から ALT4 までを得た。そして各変異株について植物体内の ALA 量の変動解析, Target P による局在性予測を行った。さらに ALA 耐性がとくに高い *alt1*, *alt2* 変異株における, ALA up-regulated genes (ALU) の応答性の変化を地上部と根に分けて調べた。その結果, 各 ALT はそれぞれ異なった機能を持っていることが示唆された。つまり ALT1 は, 維管束から各組織への ALA の輸送や分配に関わるのに対して, ALT2 は根における ALA の初期取り込みに関与, ALT3 は葉緑体と細胞質間での ALA の輸送に関わっている可能性が示唆された。

5-アミノレブリン酸(ALA)の分子機能 ～ALA 誘導性遺伝子による植物のストレス耐性増強

田中節彦¹, 段塵³, 黒田修司², 山形裕士³, 宇野知秀³, 金丸研吾^{1,3}
農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程¹, 神戸大・先端融合研究環², 神戸大院・農³

5-アミノレブリン酸 (ALA) は、植物におけるヘムやクロロフィルなどの合成基質である。植物に ALA を投与すると生育が促進し、既に肥料成分として製品化されている。さらに、適切な濃度の ALA 処理は各種の環境ストレスに対する耐性を増強する。一方で、生物ストレスに対する生理効果は明らかになっていない。我々は新たな ALA のストレス耐性向上機能とその作用機構に注目し、バイオマス増産のための植物活性物質としての用途展開を展望したいくつかの基盤研究を進めている。

本研究では、モデル植物シロイヌナズナで ALA 誘導性の ALA-upregulated (ALU) 遺伝子がどのようなシグナル伝達経路や代謝経路に関連しているかを解析した。さらに我々は ALA 応答性転写因子 ALR も複数同定しており、とくに重要と考える *ALR1*, *ALR2* の二重欠損変異株を構築して ALU 遺伝子発現やストレス耐性の変化について解析した。また、ALU 遺伝子のうち ALA 代謝物によって生成する活性酸素種 (ROS) のシグナルに応答しているものを区別するため、光増感剤であるローズベンガルを用いて ROS を発生させた場合の ALU 遺伝子の定量 PCR 解析を行った。これらの結果、ALA は ROS 応答系とは独立して植物ホルモンシグナル伝達経路や非生物学的ストレス・生物学的ストレス両方の応答系遺伝子を ALR 依存的に発現誘導していること、ALA 処理した植物での病原耐性試験から ALA はたしかに生物学的ストレス耐性も向上させることが明らかとなった。以上を踏まえ、ALA 誘導性の環境ストレス耐性増強の分子機構モデルを提唱する。

B07

ナノインプリント法によるグレーティング付き光導波路センサの作製

楠達也、森脇和幸

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

本研究では、簡易かつ高感度にセンシングできる光導波路について、ナノインプリント法による作製を検討した。光導波路センサは小型化や低コスト化、高感度化の両立が極めて大きな課題となっている。我々はナノインプリント法を用いて光導波路とサブミクロン周期のグレーティング構造を簡便に作製し、位相制御機構を付加することにより、低コストで高感度な光導波路センサの作製を目指している。

光導波路のコア層にはネガ型フォトレジストのSU-8、下部クラッド層には光硬化性樹脂PAK-01を採用し、コア層上部の膜厚を濃度により最適化し、シングルモード導波路を実現した。ナノインプリントで用いるモールドはフォトリソグラフィ、反応性イオンエッチングにより導波路部分の構造を作製している。またモールドへのグレーティング構造の付加は電子線直接描画により行い、描画条件の最適化により実現した。

本作製プロセスにより光導波路及び付加するグレーティングを簡便に作製することで、低コストかつ高感度な光導波路センサが実現でき、様々な応用にも期待できる。

本研究で用いたインプリントと電子線直接描画では、兵庫県立大学高度産業科学技術研究所の岡田真助教の協力を得た。

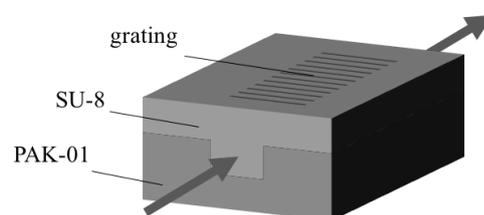


Fig. 1. グレーティング付き光導波路模式図

B08

多層膜分光器を用いたアンジュレータ放射光照射による石英ガラスの屈折率制御

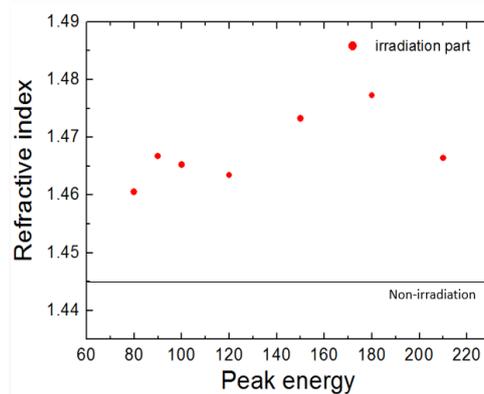
宮本隆志、森脇和幸

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

現在、光グレーティングを作製する方法としてエキシマレーザーを利用した光誘起屈折率変化が用いられている。光源に放射光を代用することで、より高効率で大きな屈折率変化が起きることが確認されている。ここでは放射光照射によって石英系材料に起きる改質の照射波長効果をより詳細に調べるために、多層膜分光器を用いて準単色光のアンジュレータ放射光（UR）を石英系ガラスに照射した。作製したサンプルを用いて分光エリプソメトリー測定と可視・紫外光吸収分光測定と分光反射干渉測定を行った。

分光エリプソメトリー測定と分光反射干渉測定により、UR照射により表面に高屈折率層の改質が起こることがわかった。URのピークエネルギー（80～210eV）による屈折率の変化量の違いは分光器を用いる前の試料に比べると小さいが存在しており、屈折率変化を制御できる可能性が示された。

可視・紫外光吸収分光測定により分光器導入前と比べれば小さいが、吸光度が照射により上昇していることがわかった。これは光誘起欠陥生成と考えられ、試料表面の屈折率変化の要因の一つと考えられる。



B09

多価イオン照射によるカーボンナノチューブの構造変化

別宮晃治、西田尚史、櫻井誠、本多信一^A

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程、兵庫県立大学^A

多価イオンとは、中性原子から2つ以上の電子を取り除いた正イオンの事を指す。これはイオン化エネルギーの総和で表される非常に大きな内部エネルギーを持ち、固体表面に入射した際にナノメートルスケールの様々な表面改質を可能にする。これを応用すればナノカーボン材料への欠陥導入といった、構造制御が可能となることに着目し、研究を進めている。

現在、試料として用いているのはCVDにより作製された多層カーボンナノチューブ(Multi-Walled Carbon Nano Tube : MWCNT)である。本研究ではMWCNTに、電子ビーム型多価イオン源(Electron Beam Ion Source : Kobe-EBIS)によって生成したArの多価イオンを照射し、その前後における構造変化を透過型電子顕微鏡(TEM)により観察するとともに、顕微ラマン分光法によってその結晶性の変化について評価した。

多価イオンを照射したMWCNTのTEM像では、1価イオンの照射では見られない、多価イオンによるポテンシャルスパッタ効果が確認された。この現象はグラファイトでは起こりにくく、MWCNT特有のものと考えられる。

また、ラマン分光では照射前と比べ、照射後ではDピークの強度がGピークに対し増加していることが確認された。これは照射によって欠陥を生じさせていることを示している。発表ではこれら多価イオンの照射結果について更に詳しく報告する。

B10

B11

Kinetic Resolution of Heterobiaryl Derivatives with Winding-vine-shaped Molecular Asymmetry

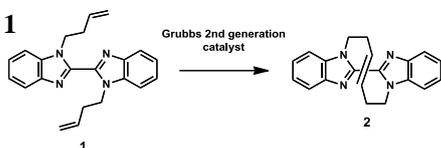
Kazuki Maruhashi, Yoichi Okayama, Yuka Toyomori, Kentaro Okano, Atsunori Mori

Department of Chemical Science and Engineering, Kobe University

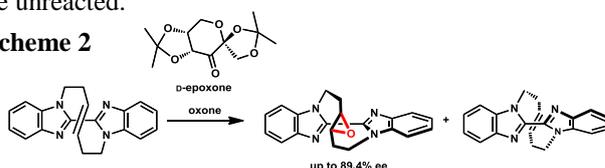
We have recently reported that the ring-closing metathesis(RCM) of bisimidazole **1** with the Grubbs 2nd generation catalyst proceeds in a *E*-selective manner to give the cyclized product **2**, which shows a novel class of molecular asymmetry that is *winding-vine-sharped molecular asymmetry*.¹(Scheme 1)

We herein describe that kinetic resolution of **2** takes place in an enantiospecific manner when the Shi's epoxidation² at the olefin moiety of **2** is carried out with a chiral ketone D-epoxone in the presence of oxone as an oxidant. (Scheme 2) The reaction with racemic **2** revealed to undergo epoxidation of (*S*)-bisimidazole preferentially to afford the corresponding epoxide in up to 90% ee, while (*R*)-bisimidazole unreacted.

Scheme 1



Scheme 2



References

1. S. Nishio, T. Somete, A. Sugie, T. Kobayashi, T. Yaita, A. Mori, *Org. Lett.* **2012**, *14*, 2476-2479.
2. Z.-X. Wang, Y. Tu, M. Frohn, J.-R. Zhang, Y. Shi, *J. Am. Chem. Soc.* **1997**, *119*, 11224-11235.

B12

MAC 88107 隕石のコンドリュール/リムの組織観察

酒井碧¹、留岡和重²、瀬戸雄介²

理学研究科 惑星学専攻 博士後期課程¹、神戸大院・理²

一般的な炭素質コンドライト隕石は、コンドリュールなどの粗粒な構成物とそれらの間を埋める細粒なマトリックスからなり、マトリックスは隕石の>30 vol.%を占める。これに対し、MAC 88107 隕石はマトリックスを持たず、大部分がコンドリュールとそれらを囲むリムからなる。リムは星雲中でコンドリュールの表面に塵が付着して形成されたものと一般に考えられており^[1]、MAC 88107 隕石のようにコンドリュールとリムのみからなる隕石は、母天体上で角礫化等の作用を受けず、星雲から集積したままの組織を保持する「星雲集積岩」であるとされている^[1]。しかし、最近の研究^[2,3]で、コンドリュールのリムについて、水熱変成・角礫化・運搬といった母天体内の過程で形成されたことを示唆する組織が観察された。[2, 3]の説では、リムは前駆コンドライトマトリックスの残留物だと考えられている。

リムが母天体内で形成される可能性が示されたことを受け、本研究では、星雲集積岩とされる MAC 88107 隕石の形成過程を再評価することを目的として、SEM-EDS, STEM-EDS を用いた組織観察、組成分析を行った。

引用文献：

- [1] Metzler et al. (1992) GCA 56, 2873–2897. [2] Tomeoka and Ohnishi (2010) GCA 74, 4438–4453. [3] Tomeoka and Ohnishi (2014) GCA 137, 18–34.

B13

Mokoia 隕石マトリックスの平板状オリビンの成因

庄田直起、留岡和重、瀬戸雄介、三宅亮
理学研究科 惑星学専攻 博士前期課程

炭素質コンドライトのマトリックスは、主に細粒な Fe に富むオリビン粒子によって構成されている。これら Fe に富むオリビン粒子は、かつて原始星雲内におけるガスからの凝縮プロセスで形成したと考えられていた。しかし、より最近の研究はその形成には隕石母天体内のプロセスが関わっていたことを示唆しており、成因については未だ議論がある。本研究では、隕石マトリックスの Fe に富むオリビンの成因を明らかにすることを目的に、Mokoia 隕石のマトリックスおよびコンドリュールの Fe に富むオリビンの SEM-EDS-EBSD、(S)TEM-EDS による微細組織観察、結晶方位解析を行った。

Mokoia 隕石マトリックスの Fe に富むオリビンの大部分は平板形状を示す。これらの平板状のオリビン粒子について TEM を用いて観察を行ったところ、オリビン粒子の内部には微小な Fe-Ni 硫化物からなる包有物が含まれていた。また、オリビン粒子は(100)に平行な面状の欠陥構造を含んでいることが分かった。さらに、EBSD によって、平板状のオリビン粒子の方位測定を行ったところ、それらの大部分は(100)が発達していた。コンドリュールについても同様に観察を行ったところ、エンスタタイトを交代して平板状の Fe に富むオリビンが形成している組織も観察された。これらのオリビンは形態と結晶方位の関係、内部構造の点でマトリックス中のオリビンと有意な差がない。したがって、マトリックス中の平板状オリビンは隕石母天体内でコンドリュールの変成によって形成した可能性が高い。

B14

Cytochrome b561 ホモログ 101F6 の癌抑制メカニズム解析

大塚瑞樹、山添貴子、鏑木基成
理学研究科 化学専攻 博士前期課程

膜タンパク質は生体膜内外の情報伝達に重要な役割を果たしており、それらの生理機能の異常は癌など多くの疾病と関係している。6 回膜貫通型タンパク質 101F6 は cytochrome b561 ファミリーに属している。101F6 遺伝子はヒト染色体 3p21.6 領域に存在し、この領域はヒト肺癌患者でしばしば欠損が起こる事が知られている。逆に肺癌由来細胞に 101F6 遺伝子を導入し、同時に培地中に AsA を添加することで、癌細胞がアポトーシスを起こすこと、癌細胞の生育を抑制することも報告されており、これらの結果から 101F6 遺伝子は癌抑制遺伝子候補と考えられている。しかしアポトーシスが誘起される際に想定される細胞内シグナル伝達経路において、101F6 タンパク質がどのようなタンパク質・酵素と相互作用しているのか未だ解明されていない。

本研究では *in vitro* 状態での相互作用解析を行った。まず、ヒト 101F6 タンパク質をメタノール資化性酵母によって発現させ、高純度精製した。その後、ヒト癌組織由来 A549 細胞の抽出液と 101F6 タンパク質を混ぜ合わせ、101F6 特異的抗体を用いた免疫共沈磁気 beads 法により、101F6 タンパク質と相互作用するタンパク質の特定を目指した。SDS-PAGE 後の銀染色で 101F6 タンパク質と共沈する多くのタンパク質バンドが確認でき、解析の結果、60kDa 程の分子量のタンパク質バンドを相互作用タンパク質候補とした。このタンパク質を同定・解析することで 101F6 がアポトーシスを引き起こす原因となるシグナル経路が解明できることを期待している。

B15

血液凝固因子フィブリノーゲンに見いだされたアミロイド線維形成阻害能

赤井大気¹、山本直樹¹、茶谷絵理¹

理学研究科 化学専攻¹ 博士前期課程

アミロイド線維はタンパク質の異常凝集体であり、生体組織に沈着するとアルツハイマー病など様々な病気を発症することが明らかとなっている。しかしながら、健康な人の体内ではアミロイド線維化は極力抑えられているようであり、生体内では様々なタンパク質が共存することを考えると、アミロイド線維化は、生体内において周囲のタンパク質との相互作用により抑制される可能性がある。そこで本研究では、血液凝固を担うタンパク質として主に血液中に存在するフィブリノーゲンが生体内ストレスにより濃度が上昇することに注目して、フィブリノーゲンにおけるアミロイド線維化に対する抑制効果およびその機構を調べた。

本研究では、インスリン由来のペプチド断片 B 鎖のアミロイド線維形成反応を題材として選択し、これにフィブリノーゲンを添加した時の影響をチオフラビン T 蛍光を用いて解析した。その結果、フィブリノーゲン共存下では B 鎖の線維形成を示す蛍光値の急激な上昇は見られず、原子間力顕微鏡によりその形状を調べても、線維状の凝集物は存在しなかった。また、この時の B 鎖の構造変化を遠紫外 CD スペクトルにより時分割追跡したところ、線維が形成する以前の間体の段階で反応がストップしていることが示された。以上の結果から、フィブリノーゲンは B 鎖を中間体のまま構造を保持することで、その後の反応進行を抑制する線維化阻害機能を持つことがわかった。

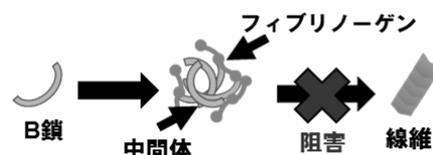


Fig. 結果より予想される阻害機構.

B16

低次元フラストレート磁性体 $K_2Mn_3(OH)_2(VO_4)_2$ の ESR 測定

藤本雅哉¹、大久保晋^{1,2}、原茂生³、櫻井敬博³、太田仁^{1,2}、大塚大祐⁴、佐藤博彦⁴

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程¹、神戸大・分子フォト²、神戸大・研究基盤セ³、中大・理工⁴

$K_2Mn_3(OH)_2(VO_4)_2$ は Mn^{2+} ($S = 5/2$) の 2 次元格子反強磁性体である。本物質の Mn^{2+} のネットワークはダイヤモンド鎖とカゴメ格子に似た特徴を含んでいることからマルチカゴメストライプ (MKS) 構造と呼ばれており、磁氣的フラストレーションを示すと期待される (図 1) [1, 2]。

我々は本物質の磁気異方性を調べる目的で、単結晶試料を用いた室温での X-band ESR 測定を行った。その結果、2 次元磁性体に特徴的とされる線幅の角度依存性が観測された [3]。さらに bc 面内に磁場を印加し、温度依存性の測定を行うと 56 K 付近で吸収の消失が起こった。これは 50 K で生じる反強磁性転移による共鳴磁場のシフトが原因と考えられる。また高周波数帯での振る舞いを調べるため、30 枚の単結晶を a^* 方向に重ねた試料を用いたサブミリ波 ESR も行った。発表では、サブミリ波 ESR を含めた詳細な磁気異方性について報告する予定である。

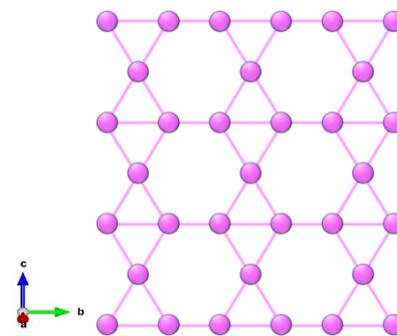


図 1 Multi-Kagome-Strip 構造

[1] J-H Liao, *et al.*, Acta Crystallogr. C52, 284 (1996)

[2] D. Otsuka, *et al.*, Meeting abstracts of the Physical Society of Japan (Sept. 2014) Part3, p312

[3] P M Richards, *et al.*, Phys. Rev. B. 9, 32 (1974)

ファイバー状窒化ホウ素の作製とその発光挙動

對馬恵美、内野隆司

理学研究科 化学専攻 博士前期課程

六方晶窒化ホウ素(h-BN)は $E_g \sim 6.5$ eV のワイドバンドギャップ半導体であり、h-BN の結晶構造中に存在する窒素空孔(V_N)や、窒素サイトに置換した酸素(O_N)または炭素(C_N)などの不純物欠陥に由来する発光が 3~4 eV の領域に観測される[1]。本研究では一般的な鱗片形状の窒化ホウ素とは異なるファイバー形状を有する窒化ホウ素を文献記載の方法[2,3]に従い合成し、熱処理温度、測定温度により発光挙動がどのように変化するかについて調べた。図 1 にファイバー状窒化ホウ素、それを 600°C、700°C で大気加熱したものについての発光(PL)、発光励起(PLE)スペクトルを示す。ファイバー状窒化ホウ素は鱗片状窒化ホウ素に比べ、PL、PLE 共にピーク位置は長波長側へシフトした。大気加熱により発光強度は増大し、700°C 加熱試料では内部量子収率が 58.2% であった。700°C 加熱試料の 340 nm 付近の発光に関して発光強度の温度依存性を測定したところ、200 K 以上の温度領域で温度上昇に伴う発光強度の増大が確認された。この挙動は温度増大に伴う発光強度の減少を見せる鱗片状の窒化ホウ素とは異なっていた。

[1] X. Z. Du, J. Li, J. Y. Lin and H. X. Jiang, Appl. Phys. Lett. **106** (2015) 021110.

[2] J. Li, et al. Nanotechnology **24** (2013) 155603. [3] T. Hagio, K. Kobayashi and T. Sato, J. Ceram. Soc. Jpn. **102** (1994) 1051.

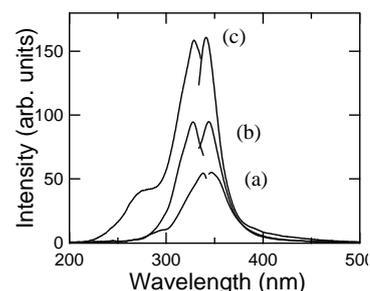


Fig. 1 PL and PLE spectra of the (a) as-prepared, (b) 600°C annealed, and (c) 700°C annealed BN whisker

高周波誘導加熱による紫外/可視発光シリカガラスの創製

永吉佑、内野隆司

理学研究科 化学専攻 博士前期課程

シリカガラス中にはその製造条件により様々な発光中心が存在する[1]。その中でも 2 配位 Si は、シリカガラス中に最も一般的に存在する発光性酸素空孔である[2]。2 配位 Si は 5.0 eV の光励起により、4.4 eV と 2.7 eV の紫外・可視部に発光が誘起される[2]。また、シリカガラス製造時に第二成分を添加することにより、添加物に由来する発光も導入可能である。2 配位 Ge はシリカガラス中の Si と置換した Ge に関する発光性酸素空孔であり、5.1 eV の光励起により 4.2 eV と 3.1 eV の紫外・可視発光が誘起される[3]。本研究ではシリカガラス粉末、 GeO_2 結晶粉末、またはその混合粉末に炭素増燬を加熱源とした高周波誘導加熱を施すことで紫外・可視発光を示すシリカガラスを作製した。これらの発光強度の測定温度依存性は、それぞれ熱励起過程に伴う変化が見られた。特に、純粋なシリカガラスに誘導加熱を施した試料中の二配位 Si に由来する 4.4 eV の発光について、昇温過程と降温過程の両過程で温度依存性を測定したところ、300 K 以下の温度領域で不可逆的な温度依存性が観測された。この結果はこれまで報告されている 2 配位 Si の 4.4 eV 発光強度の温度依存性と異なっており、これまでに観測されていない熱励起過程の存在が示唆される。

[1] David L. Griscom, J. Non-Cryst. Solids 357 (2011) 1945-1962.

[2] L. Skuja, J. Non-Cryst. Solids 167 (1994) 229-238.

[3] L. Skuja, A. Trukhin, and A. Plaudis, Phys. Stat. Sol. A84 (1984) K153

B19

時間分解 EPR 法によるねじれたメビウス型ヘキサフィリンの 励起三重項状態の電子構造

江間文俊¹、齋藤尚平²、大須賀篤弘²、田辺真奈³、山内清語³、杉崎研司⁴、佐藤和信⁴、
工位武治⁴、立川貴士⁵、小堀康博⁵

理学研究科 化学専攻 博士後期課程¹、京大院理²、東北大多元研³、阪市大院理⁴、神戸大院理⁵

近年、メビウス芳香族性分子は、 π 軌道がメビウスの輪のように回転しながら広がっていることから注目されている。また、このメビウス芳香族性分子の特長を生かした新規機能性 π 電子材料への応用が期待されている。化学的特性や反応性を制御するためには、励起状態における電子構造の解明が望まれる。我々は、メビウス芳香族性を示す分子として、環拡張型ポルフィリンの一種であるヘキサフィリン分子に注目した。

本研究では、ねじれたメビウス構造を有する分子の励起三重項状態の電子構造を明らかにするために、時間分解 EPR(TREPR)測定を行った。励起三重項状態の[28]ヘキサフィリンが、低温でメビウス構造を保持していることから、77 K で測定を行った。[28]Hexaphyrin 分子の短軸方向に沿った遷移双極子モーメントを励起させた際、TREPR スペクトルに外部磁場方向に対する配向依存性の効果が明確に現れた。得られた EPR パラメータの解析により、メビウス構造の[28]ヘキサフィリンでは、励起三重項状態において、不對電子軌道の電子密度分布が π 共役系に沿って均一には非局在化していないことが明らかになった。当日の発表では、項間交差の異方性の解析結果や量子化学計算によって得られた結果も含めて議論する。

謝辞：77 K における UV-Vis 吸収スペクトル測定にご協力いただいた秋本誠志博士に感謝いたします。

B20

酵素反応を利用した DNA-金ナノ粒子ハイブリッドゲルの創製

永口侑香、加藤智晴、田中勉、丸山達生
工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程

DNA ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) は DNA ポリメラーゼを用いて DNA を連鎖反動的に増幅させる反応である。PCR は短時間で大量の DNA 断片を得られることから生物、医学分野において広く用いられている。また、DNA の長さや配列を精密に制御できるという性質から、近年ナノ粒子の構造制御などにも応用されている。本研究では PCR 法をゲル作製へ応用することに着目した。ゲル作製に応用した。PCR で長さの揃った 2 本鎖のチ

オール化 DNA を合成し、金ナノ粒子 (AuNP) 表面にそれらを固定化することで、AuNP を架橋点、DNA を主鎖とするネットワークを構築させ、ゲルの形成を試みた。Fig. 1 には、ゲルの構成を模式的に示した。従来のゲルではゲルの物性を決定付ける高分子鎖長の制御は困難とされてきたが、PCR を利用することによりゲル骨格の精密な制御が可能となる。このゲルは金ナノ粒子と DNA の両方の特性を有するため、様々な機能が期待できる。例えばこのゲルは、熱、光、酵素といった様々な刺激に応答したゾルーゲル転移を示す。また、ゲル骨格を構成する DNA は遺伝情報を有するため、ゲル中の遺伝情報を利用が期待できる。さらに金ナノ粒子の性質により生体分子の固定化も可能である。

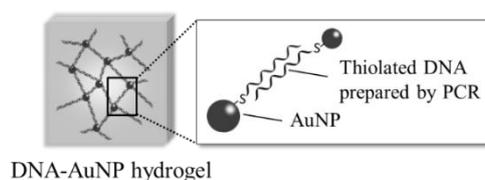


Fig. 1 Illustration of the formation of DNA-AuNP hydrogel.

B21

Poly(3-hexylthiophene)/graphene 複合体の作製と導電性材料への応用

○井口博貴¹、東千誠²、舟崎裕一²、藤田佳佑²、森敦紀²、中壽賀章³、丸山達生²

¹工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程、²神戸大院工、³(株)積水化学工業

Grapheneは導電性やガスバリア性が注目される一方で、溶媒中では凝集し、物性の損失および応用プロセスの難化という課題がある。解決策として、分散剤被覆法が提案されているが、従来の分散剤は絶縁性であるためgrapheneの導電性を妨げてしまう問題がある。本研究では、導電性高分子であるpoly(3-hexylthiophene)(P3HT)を分散剤として用いることで、P3HT/graphene複合体を作製し、有機溶媒中に安定に分散させる方法を開発した(Fig. 1)。TEM、AFMによる観察から、P3HTと1~3層のgrapheneの複合化を確認できた(Fig. 2)。さらにXPS、ラマン分光分析から、grapheneに構造欠陥を生じることなく分散可能ということが分かった。最後に、P3HT/graphene複合体を銅微粒子表面に吸着させることで、耐酸化性かつ高導電性を有する銅微粒子作製に成功した。銅表面への吸着、形態学および酸化状態の評価はSEM、XPSおよびラマン分光分析を用いた。

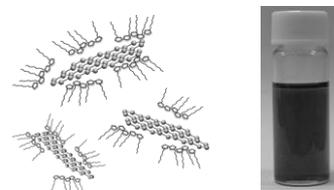


Fig. 1 P3HT/graphene 複合体イメージ図

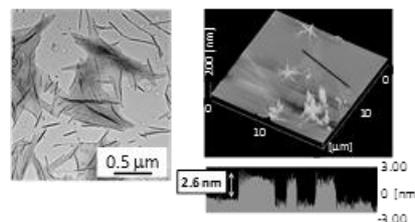


Fig. 2 TEM、AFM による観察

B22

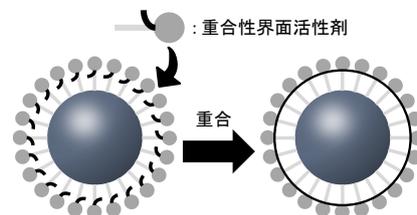
重合性界面活性剤を用いた金属ナノ材料の表面修飾法の開発

東 千誠、舟崎 裕一、丸山達生

工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程

金属ナノ粒子はバルクではみられないナノ粒子特有の性質を示す。その性質を利用して、近年、生体分子や高分子材料と複合化させることによるバイオ分野や医療分野への応用が盛んに試みられている。しかしながら、pHや溶媒の影響で金属ナノ粒子同士が凝集してしまうことや、金属ナノ粒子表面は反応点が乏しいといった問題がある。本研究ではこれらの問題の解決法として最も汎用的な、界面活性剤による表面修飾法に着目する。この方法は既存の金属ナノ粒子に簡便に表面改質を行うことができる一方で、界面活性剤の金属ナノ粒子表面への吸着は物理的な平衡に依存しているため、希釈や洗浄や溶媒の影響によって界面活性剤が金属ナノ粒子の表面から脱着してしまうという問題点がある。そこで本研究では、界面活性剤の分子内に重合性官能基を導入した重合性界面活性剤を合成し、金属ナノ粒子表面に吸着させた後に金属ナノ粒子表面上で重合させることを提案する (Fig. 1)。本方法により、安定な表面修飾を施し、金属ナノ粒子を多種の溶媒に安定に分散させ、粒子表面に反応点を付与することが可能となり、金属ナノ粒子の応用の幅がさらに拡大することが期待できる。

本研究では、重合性界面活性剤を新規に設計・合成した。合成した重合性界面活性剤を用いて、金ナノ粒子表面上での重合を行うことによって、酸性条件下、洗浄操作後（水中）および有機溶媒中における金ナノ粒子の分散安定性の向上に成功した。



界面活性剤を金属ナノ粒子表面で固定化

Fig. 1 Schematic representation of immobilization of the polymerizable surfactant on surfaces of metal

人工生体膜とナノ空間を組み合わせた 1 分子計測技術の開発

安藤公二、林文夫、森垣憲一

農学研究科 生命機能科学専攻 博士後期課程

1分子蛍光観察法として全反射顕微鏡(TIR-FM)や、ゼロモード導波路が用いられている。これらの観察は高濃度ではバックグラウンドノイズとなる分子が多く、観察することが難しい。そこで本研究では人工生体膜とナノ空間を組み合わせることで高濃度でも1分子計測を可能とする新たな生体分子1分子計測技術を開発した。我々の研究室ではポリマー化した脂質2分子膜(ポリマー膜)の領域と、生体由来の脂質2分子膜(流動性膜)を1枚の基板表面にパターン状に作製する技術を有している。ポリマー膜とPDMSシートとを、10-100nmの大きさの接着層を介して結合させることで、流動性膜の上部にはナノ空間(ナノギャップ構造)が作製される。流動性膜には側方拡散の性質がある。そのため、特定のタンパク質を流動性膜と特異的に結合させることで、タンパク質はナノギャップ構造内へと輸送される。これにより観察時のバックグラウンドノイズとなる分子の侵入を防ぐことが可能となり、シグナル/ノイズ比(S/N比)が上がる。結果、ナノギャップ構造を用いることで高濃度中からでも1分子観察が行うことが期待できる。我々は膜に結合するタンパク質(CTB)と、膜と結合しないタンパク質(BSA)の混合溶液を用いて、CTBが選択的にナノギャップ構造内へ輸送されることを示した。また、前立腺癌のバイオマーカーであるPSAを用いてナノギャップ構造内で1分子観察が可能となったことを示した。これによりナノギャップ構造を用いることで1分子計測が可能となり、これまで知られていなかった分子の挙動の理解へつながると期待している。

超分子ゲル化剤の *in-situ* 合成による 反応場として応用可能な刺激応答性ゲル油滴の作製

○西田雄貴、田中暁子、丸山達生

工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程

超分子ゲルは熱や光などの外部刺激に応答した可逆的なゾル-ゲル転移が可能であるなど、機能性の新規材料として近年注目を集めている。本研究では合成と同時に水溶液をゲル化可能な超分子ゲル化剤を用いて、O/W エマルジョン中の水相-油相界面

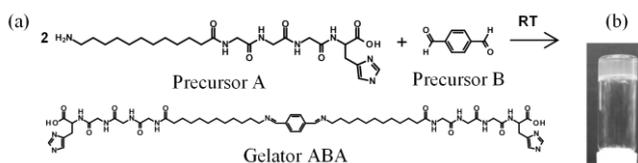


Fig. 1 Concept of *in-situ* synthesis of supramolecular gelators (a). Photo of ABA hydrogel (1.0 wt%, 50 mM phosphate buffer pH 7.4) (b).

面で超分子ゲル化剤を合成し、界面近傍の水相のみをゲル化させることによって油滴を超分子ゲルで被覆したゲル油滴の作製を試みている。油滴を超分子ゲルで被覆することにより、油滴どうしの合一の抑制と外部刺激に応答したゲル-ゾル転移によるゲル油滴の合一が可能になると期待される。そこで本研究では、外部刺激に応答したゲル油滴の合一によって油滴内に内包した反応基質が混合され、反応が進行するという、超分子ゲル油滴を用いた新規反応場の開発を目指している。本研究では合成と同時に水溶液をゲル化可能な超分子ゲル化剤として、アミノ基末端を有する前駆体 A とアルデヒド基末端を有する前駆体 B が結合した超分子ゲル化剤 ABA を設計した(Fig. 1a)。溶媒にリン酸緩衝液(pH 7.4)を用いて超分子ゲル化剤 ABA の合成を行ったところ、15 分後にゲルの形成が確認された(Fig. 1b)。この検討より、超分子ゲル化剤の合成と同時にゲル化可能であることが確認されたため、ゲル油滴の作製と安定性・刺激応答性の評価を行った。

金属ナノ構造/シリコン量子ドット複合体の発光特性評価

井上飛鳥、杉本泰、藤井稔

工学研究科 電気電子工学専攻 博士後期課程

半導体量子ドットコロイド溶液は、高い安定性・広範囲に制御可能な発光波長など、既存の蛍光体(有機色素、蛍光たんぱく質 etc)に比べて優れた特性を有するため、バイオ分野における蛍光標識としての利用が期待されている。しかし、優れた特性を有する半導体量子ドットの多くがカドミウムカルコゲナイド(CdX, X=S, Se,...)であり、生体に有害であるため実用化には至っていない。そこで、高い生体親和性を有する量子ドットとしてシリコン量子ドットが期待されているが、化学的・光学的特性において、解決すべき課題が多いのが現状である。

そこで本研究では、シリコン量子ドットの光学的特性を、金属ナノ構造と融合することにより向上させることを目的とした。金属ナノ構造である金ナノ粒子とシリコン量子ドットから成る複合体を静電気力、DNAハイブリダイゼーション及び静電気力を用いて作製した(図参照)。金ナノ粒子の周囲には、局在表面プラズモン共鳴による増強電場が存在し、増強電場中に配置された発光体は、発光が増強することが知られている。今回作製したナノ複合体では、静電気力により作製したもので1.4倍、DNAハイブリダイゼーションによるものでは4倍の発光増強が得られることが分かった。また、本発表では、金属ナノ構造を有する基板に配置したシリコン量子ドット単層膜の光学特性評価に関しても議論する。

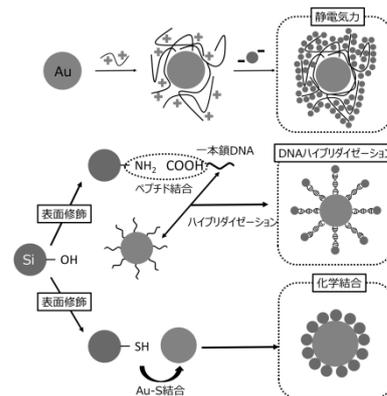


図. 金ナノ粒子/シリコン量子ドット複合体の作製方法

汎用プラスチック材料の表面機能化を目的とした新規高分子塗布技術の開発

西森圭亮、北畑繁、下村文音、西野孝、丸山達生

工学研究科 応用化学専攻 博士前期課程

現在、安価なプラスチック表面にDNAやタンパク質などの生体分子を安定的に固定化することで、医療診断や食品検査などの分析分野に利用する試みが進められている。プラスチック基板表面に生体分子を固定化するためには、カルボキシ基のような反応性官能基を足場として導入する必要がある。今回はカルボキシ基

を表面に導入するための修飾法として、dip-coat法を選択した。dip-coat法は、反応性部位を有する機能性高分子溶液を塗布・乾燥させるという簡便な方法で、様々な表面形状のプラスチック基板に機能性を付与できるという利点がある。しかしながら、カルボキシ基のような反応性部位は表面自由エネルギーが高いため、そのままではdip-coat後の乾燥時にバルク中に埋もれ、プラスチック基板表面に提示されにくいという大きな問題がある。そこで本研究では、表面偏析作用のあるパーフルオロアルキル基(R_f 基)に着目した。Fig. 1に示すように R_f 基を高分子側鎖カルボキシ基に結合した高分子をdip-coat法により、プラスチック表面に塗布することで側鎖を表面に釣り上げ、その後 R_f 基を切断することで、多数のカルボキシ基を空気と接する最表面に提示しようと考えた。本方法が実用化できれば、安価で汎用性の高いプラスチック材料表面に反応点を簡便に提示し、バイオチップなどの診断用デバイスとしての応用が期待できる。

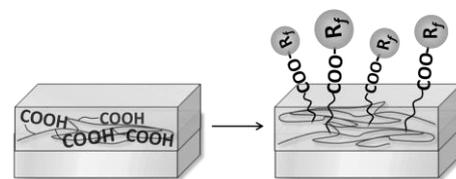


Fig. 1 Mechanism of surface segregation.

Metal Nanoparticle over Mirror 構造における Si 量子ドットの発光特性制御

八嶋 志保、杉本 泰、藤井 稔

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

微小ギャップを介して金属ナノ粒子を金属薄膜上に固定した Metal Nanoparticle over Mirror (MNPoM) 構造は、金属ナノ粒子の局在型表面プラズモンと金属薄膜の伝搬型表面プラズモンの結合により、ギャップ中に非常に大きな電場増強が生じる。そのため、発光や非線形光学応答の増強、表面増強ラマン散乱への応用が期待されている。本研究では、発光検出型センサーへの応用を目的に、図 1 に示すような Au ナノ粒子と Au 薄膜からなる、MNPoM 構造の微小ギャップに近赤外発光シリコン量子ドット (SiQDs) の単層膜を配置した構造を実現した。図 2 にその単一の Au ナノ粒子

の散乱及び、発光測定の結果を示す。Au ナノ粒子が無く、Au 薄膜によってクエンチされた SiQDs の発光(light gray)が構造により増強され、狭帯域化されたことが分かる(gray)。またこの増強されたスペクトルが同領域の散乱スペクトル(broken black)の形状と非常によく一致していることから、この発光の変化が構造の増強電場によるものであることが分かる。発表では数値計算を用い増強効果について定量的に評価を行う。

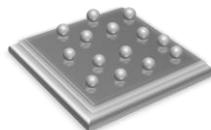


図 1. Au ナノ粒子と Au 薄膜のギャップに SiQDs 単層膜を配置した MNPoM 構造

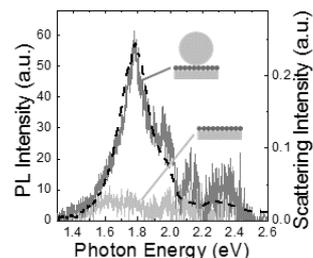


図 2. 単一の MNPoM 構造での散乱及び発光スペクトル

化学ドーピングによるシリコンナノ結晶コロイドの光学特性制御

堀 祐輔、杉本 泰、藤井 稔

工学研究科 電気電子学専攻 博士前期課程

半導体ナノ結晶コロイドはサイズや形状により幅広く制御可能な光学特性及び電気特性を示すため、様々な電子デバイスへの応用が期待されている。最近では半導体ナノ結晶の更なる高機能化を目指し、キャリア制御に関する研究が進んでいる。しかしながらナノ結晶はバルク半導体に比べて不純物のイオン化エネルギーが大きいため、不純物原子ドーピングによるキャリアの制御が困難である。この課題を解決する手段として、電子供与体や受容体となる有機分子を吸着させる化学ドーピングは、簡便なプロセスで半導体ナノ結晶の特性制御が期待されている。今回の研究では化学ドーピングによる Si-NCs のキャリア制御を目的とする。本実験で用いる Si-NCs は B, P を同時にドーピングした codoped Si-NCs コロイドである。これまでに X 線光電子分光装置を用いた研究では Si-NCs の粒径が大きくなるほど同時ドープ Si-NCs のフェルミ準位が HOMO 準位に近く、p 型半導体の性質を示すことがわかっている。今回の実験では p 型半導体である codoped Si-NCs の正孔キャリアを補償するような電子のドナーとして働く有機分子をドーパントとして用いる。Si-NCs の粒径と TTF の個数比が Chemical doping に及ぼす影響を発光特性の変化から導き出す。

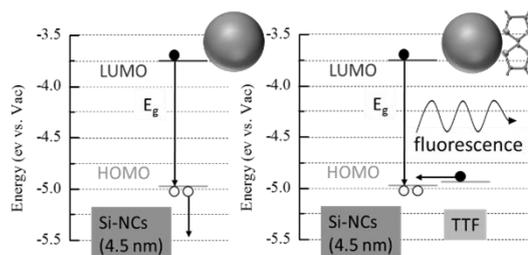


Fig1. Si-NC 中の Auger 再結合 (左) 化学ドーピングによるキャリア補償 (右)

磁場アセンブリ法による2次元ナノギャップ配列構造の自発的形成

瀧谷昇哉、青木画奈、藤井稔

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

近年、表面プラズモン共鳴を利用したバイオセンシング、単電子トランジスタにおけるナノギャップ電極のようにナノスケールの構造体を使用したアプリケーションが注目されている。現在は主に電子線描画や集束イオンビームでナノスケール構造体が形成されているが、長時間の加工と高価な装置を必要とするために大量生産を行うことは困難である。そこで本研究では、汎用的な微細加工技術であるフォトリソグラフィと、自己組織化法の一つである磁場アセンブリ法を組み合わせた、より安価なナノ微細加工技術を提案する。磁性流体中のレジストパターン(反磁性体)と常磁性微粒子に外部から磁場を印加するとそれぞれに外部磁場と反平行と平行の磁気モーメントが発生し、エネルギー勾配がつけられる。その結果、レジストパターンに常磁性粒子が誘引され、平行な磁気モーメントをもつ常磁性粒子同士は反発し、ナノギャップ構造を自発的に形成する。

図1(a),(b)はそれぞれ直径1.5 μm と直径1.0 μm の常磁性粒子を用いて作製した構造の走査型電子顕微鏡像である。粒子同士の反発力により対称性の高いナノギャップ構造を形成できた。また、粒径の小さい粒子は磁気モーメントが小さく反発力も小さくなるため、ギャップ長が小さくなる傾向が見られた。最小のギャップ長は70 nmであり、電子線描画レベルのギャップ構造を形成することに成功した(図1(b))。

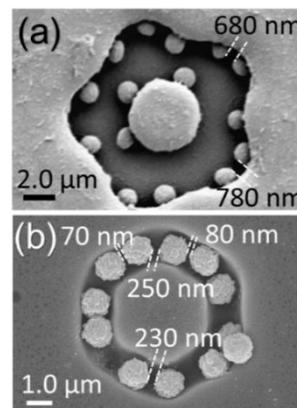


図1: ギャップ構造の走査型電子顕微鏡像((a) $\phi 1.5 \mu\text{m}$, (b) $\phi 1.0 \mu\text{m}$)

ボトムアップ法によるシリコンナノ結晶を用いた単電子トランジスタの作製

東川泰大¹、東康男²、真島豊²、加納伸也¹、藤井稔¹

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程¹、東工大応セラ²

単電子トランジスタ(SET)は単電子効果により電子一つ一つを制御可能なナノデバイスであり、電流標準器へ応用できるため注目を集めている。SETの作製には10 nm以下の寸法で構造制御を行う必要がある。その方法の一つとして量子ドットと有機分子を組み合わせ、ボトムアップ的に構造を組み立てることが行われている。量子ドットは主に金(Au)ナノ粒子が用いられているが、本研究では当研究室で開発したシリコン(Si)ナノ結晶を用いてSETの作製を行った。SiはAuと比べCMOSプロセスと互換性があるという利点がある。図1は作製したSETのSEM像及び電気測定回路図である。まずフォトリソグラフィ法、EBL法、無電解メッキを組み合わせ、金ナノギャップ電極を作製した。金電極表面にアミノヘキサチオール単分子膜を形成し、末端のアミノ基を陽イオン化させることで金電極表面を正に帯電させた。用いたSiナノ結晶は表面が負に帯電しているため、静電気力によりSiナノ結晶をナノギャップ電極間に吸着させた。9 Kで電気特性を測定したところゲート電圧 V_G に対してドレイン電流 I_D が振動するSET特有の特性が得られた。

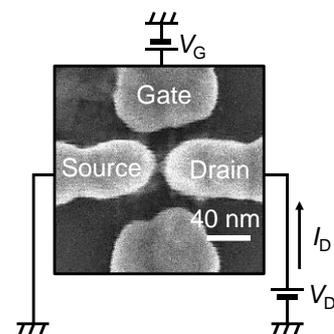


図1: 作製したSETのSEM像及び電気測定回路図。

B31

シリコンナノ結晶塗布薄膜における表面状態と電気伝導特性の関係

松田聡、加納伸也、藤井稔

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

半導体ナノ結晶コロイドは塗布によって半導体ナノ結晶薄膜を形成できることから、薄膜型電子デバイスのプレカーサーとして注目されている。半導体ナノ結晶コロイドを電子デバイスに応用するためには、コロイド塗布薄膜中のキャリアの伝導機構を解明し、電気伝導度を向上させる必要がある。半導体ナノ結晶コロイド塗布薄膜はバルク半導体と比較して大きな比表面積を持つため、表面状態と半導体ナノ結晶の電気特性が密接に関係していることが予想される。我々のグループでは、シリコン(Si)ナノ結晶にホウ素とリンを同時に高濃度ドーピングすることで、有機分子修飾無しで極性溶媒中において高い分散性を有する Si ナノ結晶コロイドを開発している。[1]

今回の発表では、金のくし型電極(チャンネル長 20 μm) 上に水素終端された Si ナノ結晶のコロイドを塗布し、その電流電圧特性および温度特性(図 1)から Si ナノ結晶塗布薄膜の電気伝導過程を議論する。また、Si ナノ結晶の表面酸化が電気伝導特性に与える影響についても報告を行う。

[1] H. Sugimoto, *et al.*, *J. Phys. Chem. C.* **117**, 6807 (2013).

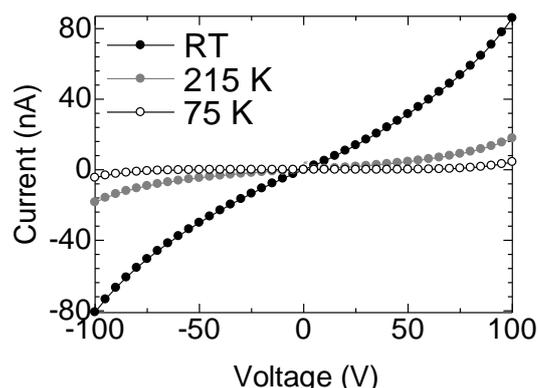


図 1. Si ナノ結晶塗布薄膜の電流電圧特性

B32

有機色素脱色によるシリコン量子ドットの光触媒活性の評価

小島拓也、杉本泰、藤井稔

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

半導体量子ドットは、可視応答かつ高活性な光触媒材料として、太陽エネルギー変換系や環境浄化などへの応用を目指して金属酸化物や硫化物など様々な材料で研究が盛んに行われている。しかしながら、CdS、CdSe や PbS など毒性の高い材料での研究が主であり、その環境に与える影響が懸念されている。本研究では、環境親和性シリコン(Si)量子ドットを用いて、光照射による有機色素の脱色を試みることで光触媒活性の評価を行った。Si 量子ドットには、当研究室で開発したホウ素(B)、リン(P)同時ドーピング Si 量子ドットを、有機色素にはローダミン B を用いた。B, P 同時ドーピング Si 量子ドットは、B, P, Si といった毒性の低い元素で構成され、極性溶媒中に高い分散性を有する[1]。図 1 に Si 量子ドット、ローダミン B 混合溶液の吸収スペクトルの光照射による時間依存性を示す。光照射によってローダミン B の吸収ピークが減少していることが分かり、Si 量子ドットによってローダミン B が酸化もしくは還元されていると考えられる。発表では、Si ナノ結晶の粒径と光触媒活性との関連性について述べる。

[1] H. Sugimoto *et al.*, *J. Phys. Chem. C.* **117** (2013)6807.

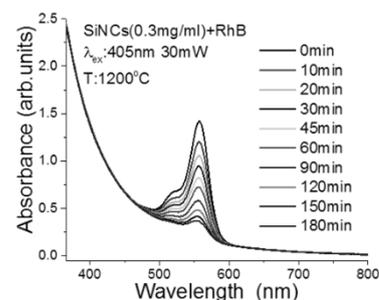


図 1: Si 量子ドット、ローダミン B 混合溶液の吸収スペクトルの光照射による時間依存性。

有機分子による P, B 同時ドーブ Si ナノ結晶の表面修飾

Yasuhiro Tada, Shinya Kano, Minoru Fujii

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

コロイド状半導体ナノ結晶は、塗布型電子デバイスへの応用や、発光材料としてバイオセンシングへの応用が期待されている。シリコン(Si)は生体適合性に優れているため、Si ナノ結晶に関する研究が活発に行われている。本研究では P, B 同時ドーピングにより極性溶媒中で高い分散性を有するコロイド状 Si ナノ結晶の開発に成功した[1]。この Si ナノ結晶の表面に有機分子を修飾すると、末端の官能基により様々な新しい機能を付与することができる。本研究では末端がアミノ基の allylamine (AAm)、カルボキシル基の acrylic acid (AAc)により表面修飾した Si ナノ結晶の開発を行い、Si ナノ結晶に対して選択吸着性の付与することを目的としている。

コロイド状 Si ナノ結晶をヒドロシル化反応により、AAm, AAc で終端した。Fig. 1 に表面修飾前後の Si ナノ結晶の赤外吸収スペクトルを示す。表面修飾後は Si-H のピークが減少し、Si-C のピークが観測された。また AAm 修飾では N-H のピークが、AAc では C=O のピークが観測された。この結果は、AAm, AAc が Si ナノ結晶表面に修飾できていることを示している。当日はナノ結晶の選択吸着性の評価、及び発光特性について議論する。

[1] H. Sugimoto *et al.*, *J. Phys. Chem. C* **117** (2013) 6807.

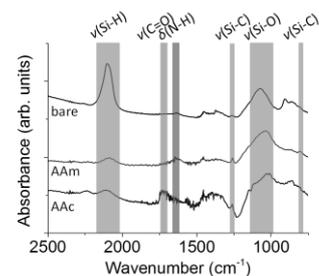


Fig. 1:表面修飾なし(Bare),AAm 修飾,AAc 修飾 Si ナノ結晶の赤外吸収スペクトル

ポーラスシリコンを用いた 3 次元微細曲面構造の形成

棚橋 雄也、青木 画奈、藤井 稔

工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

局所的な電気溶解化学反応によって、数 nm~数十 nm の連続空孔を有する多孔質に変化した Si であるポーラスシリコン(PSi)は、多孔質であるがゆえに発光体ドーピングに有利であるため、能動的な発光デバイスへの応用が期待される。本研究では、PSi の新たな加工技術として、膜厚方向に空孔率を減少させた PSi 層へフォトリソグラフィとウェットエッチングによりパターンを転写した後、熱酸化により応力を加え、3 次元微細曲面構造を形成する技術開発研究を行ってきた。転写された片持ち梁や矩形、円形パターンを変形させ、チューブ型やボウル型といった基礎的な 3 次元構造の形成に成功している。

本研究では PSi を素材とする機能性を持った構造体を目指して、ドラッグデリバリーシステムへの応用を見込んだボックス型構造の形成に取り組んだ。梁数 4 個、梁幅及び梁長さが 30 μm のボックス展開型パターンから、密閉性が高いボックス型構造を形成することができた(図 1)。円形パターンからはボウル型構造を形成した。レーザーリフローにより縁の円周部分を肥大させ、ウィスパーリングギャラリモード(WGM)共振器としての利用が期待できる(図 2)。

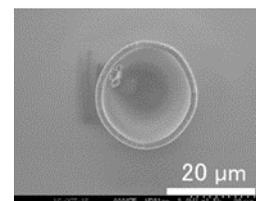
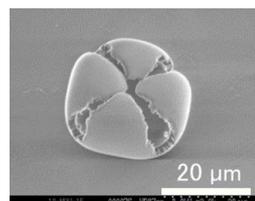


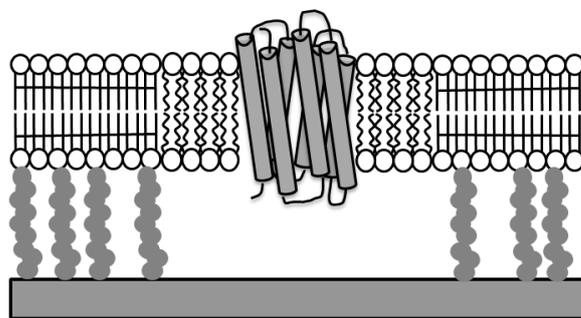
図 1.ボックス型構造

図 2.ボウル型構造

親水性高分子により基板と膜との距離を制御した人工膜への膜タンパク質再構成

田村英由子、谷本泰士、岩崎泰彦、林文夫、須藤雄気、森垣憲一
農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

膜タンパク質は膜内外の物質輸送など生命機能において重要な役割を担っており、市場に出回っている 50% 以上の薬の標的となっているという報告もある。その構造は脂質膜中に存在することで安定であることから、機能解析においても可溶化状態よりも脂質膜中で行うことが望ましい。生体膜を模倣したモデル生体膜の中でも基板に脂質膜が支持された基板支持二分子膜 (SPB) は構造が安定で、界面分析手法を用いて高感度に解析を行うことができる。しかし、SPB は基板近傍に脂質膜があるために膜に導入した膜タンパク質が基板と接触し、変性する可能性がある。そこで、高分子鎖を用いて基板と膜の距離を制御し、高感度に膜タンパク質の機能解析ができるバイオチップの開発を行った。ポリマー化された脂質膜を起点としてラジカル重合を用いて生体適合性高分子鎖を作製し、高分子鎖の方向性や鎖長が制御できた。導入された生体由来の脂質膜は、高分子鎖作製後も流動性があった、モデルタンパク質として光駆動のプロトンポンプを脂質膜に再構成すると、拡散する分子が観察できた。また高分子鎖により脂質膜へのタンパク質の非特異吸着が大きく抑制できた。



金ナノキャップ構造の表面プラズモン共鳴による希土類ドーパナノ粒子のアップコンバージョン増強

雛本樹生、高階寛之、藤井稔
工学研究科 電気電子工学専攻 博士前期課程

近赤外光を可視光に波長変換する希土類ドーパアップコンバージョン (UC) ナノ粒子は、太陽電池の波長変換層形成や蛍光バイオイメージングへの応用が期待されている。我々のグループは、UC ナノ粒子と金属ナノキャップ構造の複合ナノ粒子に着目し、表面プラズモン共鳴による 48 倍の UC 増強を実証した (JPC 119 (2015) 1175)。本研究では、ナノキャップの被覆率を制御することにより表面プラズモン共鳴波長を励起波長にチューニングし、より強い UC 増強を実現することを目的とする。

本研究では、UC ナノ粒子として Er^{3+} と Yb^{3+} を同時ドーピングしたナノ粒子を用い、UC ナノ粒子を配置した基板を $\pm \theta$ 傾斜させて Au を蒸着した。蒸着後の基板に PDMS を圧接して剥離することで、Au ナノキャップを有する UC ナノ粒子を得た。図 1 に $\theta = 37.5^\circ$ で作製した複合ナノ粒子の TEM 像を示す。Au のナノキャップが高い被覆率で Y_2O_3 を覆っていることがわかる。作製した複合ナノ粒子について、単一粒子の散乱及び発光スペクトルの測定を行った。電磁界計算により解析を行い、散乱スペクトルに現れたピークの起源を明らかにした。本研究では、 $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ の範囲で蒸着角度を変化させ、ナノキャップの共鳴波長を 690 (最短波長) から 946 (最長波長) nm まで制御することに成功した。また最大で 101 倍の UC 増強を実現した。

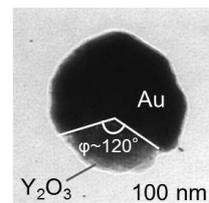


図 1 $\theta = \pm 37.5^\circ$ で作製した複合 UC ナノ粒子の TEM 像。図中の ϕ は開口角度を表す。

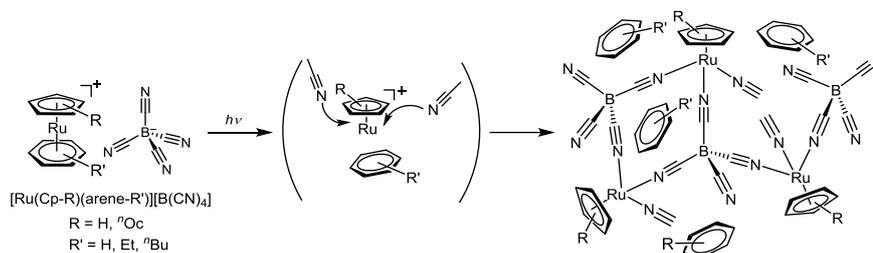
光反応性ルテニウム錯体系イオン液体の合成と反応性の評価

東智美、富永拓海、持田智行
理学研究科 化学専攻 博士前期課程

イオン液体とは融点が 100 °C 以下の塩のことを指し、難揮発性、難燃性、高伝導性などの特徴を示すことから、広く研究がなされている。当研究室では、金属錯体を含むイオン液体の開発を行ってきた。これらは磁性や触媒能のような金属錯体由来の特徴を持つ機能性液体となる。

本研究では、サンドイッチ型ルテニウム錯体 ($[\text{Ru}(\text{Cp})(\text{arene})]^+$) の光反応を利用し、UV 光照射によって固体に変化するイオン液体の開発を行った (scheme 1)。光反応に対する置換基依存性を検討するため、Cp 環または arene 環にアルキル基を導入したサンドイッチ型ルテニウム錯体系カチオンを用いた。これらのイオン液体に UV 光を照射する

と、アルキル基の置換部位や反応条件に応じて配位高分子または四核錯体が生成することが分かった。発表では、得られた配位高分子や四核錯体の熱物性やガス吸脱着能などについても報告する。



Scheme 1. イオン液体から配位高分子への光反応の反応機構。

効率的な炭素ラジカルの生成を目指した有機分子光触媒の開発

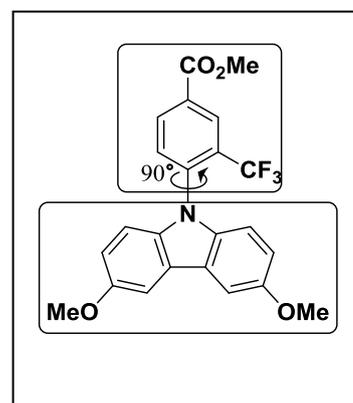
藪田達志、島田聡之、林昌彦、松原亮介
理学研究科 化学専攻 博士前期課程

近年、 $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ や $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ のような遷移金属を含む錯体を用いた有機化学反応が多く報告されている。しかし、これらの触媒は高価であり、またさらなる還元能を目指す際に分子構造の改善が困難である。そこで我々はより実用的、且つ汎用性の高い有機光触媒の開発を目的とした。さらにその有機光触媒を還元反応へと展開し、不活性な結合を切断する光還元反応の開発を目指した¹⁾。

この目的を達成するため、我々は分子内での電荷分離励起状態に着目した。電荷分離励起状態ではアクセプター部位がラジカルアニオンとなるので高い還元力を持つ。ドナー部位にカルバゾールとアクセプター部位に安息香酸を持つ一体型分子 **1a** を設計し、合成した (Fig. 1)。この一体型分子の分光学的測定と X 線単結晶構造解析を行ったところドナーとアクセプターが直交し、長寿命の電荷分離励起状態を形成していることが分かった。

次に合成した一体型分子を用いて様々なハロゲン化アルキルの還元反応を検討した。その結果、良好な選択性、収率で還元体が得られた。

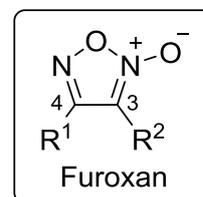
1) Matsubara, R.; Shimada, T.; Kobori, Y.; Yabuta, T.; Osakai, T.; Hayashi, M. *Chem. Asian. J.* **2016**, *11*, 2006–2010.



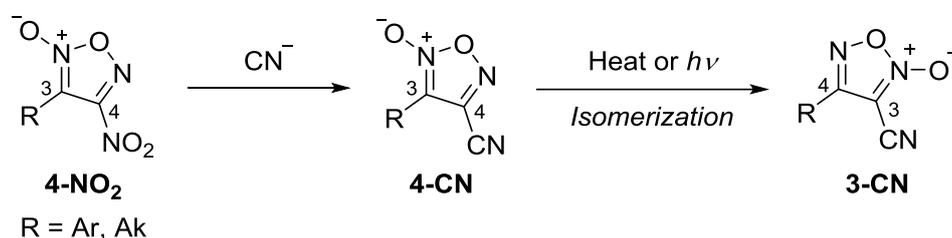
効率的なシアノフロキサン合成法の開発

安藤祥大、松原亮介、林昌彦
理学研究科 化学専攻 博士後期課程

近年、右に示す構造を持つフロキサン(1,2,5-oxadiazole-2-oxide)は生体内で一酸化窒素(NO)を放出することや多くの生理活性が報告され、新奇医薬品リード化合物として注目されている。特にフロキサン環上の3位にシアノ基を有するシアノフロキサンは高いNO放出能を示すことが知られており、様々な誘導体の研究が進んでいる。しかしながら、合成は多段階に及び基質一般性も限られていた。今回我々は、スチレン類から一段階で合成できる4-ニトロフロキサン(**4-NO₂**)を基質とし、シアニ化物イオンを用いることで直接的かつ高収率で目的の4-シアノフロキサン(**4-CN**)を合成することができたので、これを報告する(Scheme 1)。



Scheme 1. Development of the cyanation onto the furoxan ring directly



アザクラウンエーテルを骨格に含むイオン液体の合成および熱物性

大場友紀子、持田智行
理学研究科 化学専攻 博士前期課程

イオン液体とは、融点が 100 °C 以下の塩であり、難燃性、難揮発性、高イオン伝導性などの特徴を有することから、電解液や反応溶媒として用いられている。一方、クラウンエーテル誘導体は、環サイズに応じて特定のアルカリ金属イオンを捕捉する性質を持つ。そのため、クラウンエーテルを骨格に含むイオン液体を用いることで、効率的なカチオン抽出ができると考えられる。

本研究では、疎水性置換基を導入したアザクラウンエーテルを用いたプロトン性イオン液体 (**Fig. 1a**)を合成した。さらに、抽出の際に形成されるアルカリ金属錯体の性質を検討するため、クラウンエーテル内にアルカリ金属イオンを導入したイオン液体 (**Fig. 1b**)を合成した。

合成したイオン液体、およびアザクラウンエーテルと金属塩の混合系について、熱物性の評価を行った。その結果、環と金属イオンのサイズが合致する Na 錯体は K 錯体よりも結晶性が高く、高融点であった。混合系においても、中心金属のイオン半径と錯体の熱物性に相関がみられた。また、これらのイオン液体の水溶液は昇温に伴い相分離を示した (LCST 挙動)。この現象に対するアニオンの効果についても検討を行った。

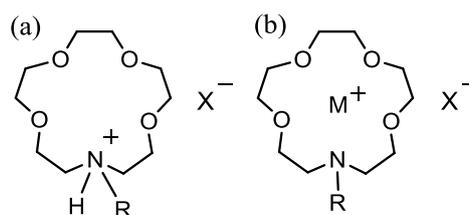


Fig. 1. アルキルアザクラウンエーテルを含むイオン液体の構造 (R = -C₃H₇, -C₂H₄C₆F₁₃; M = Na, K).

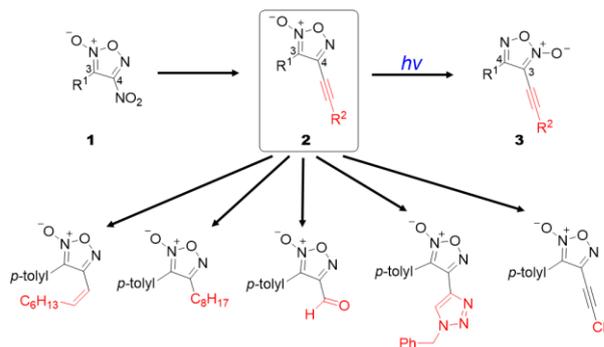
アルキニル基を有するフロキサン合成法の開発とその応用

江口修平、安藤祥大、林昌彦、松原亮介

理学研究科 化学専攻 博士前期課程

フロキサン(1,2,5-oxadiazole-2-oxide)は、生体内で一酸化窒素(NO)を放出するなど多数の生理活性を有するヘテロ環化合物である。しかしながら、その合成法開発に関しては発展途上であり、特にフロキサン環へ直接的に炭素置換基を導入する報告例はほとんど皆無であった。そこで我々は、フロキサン環に対する簡便で基質一般性の高い炭素置換基導入法の開発が不可欠であると考え、その検討に着手した。

その結果、合成容易なニトロフロキサン **1** に対して、アルキニル求核剤を用いると、フロキサン環の4位にアルキニル化が進行し、4-アルキニルフロキサン **2** が高い収率で得られることを見出した。次に、光や熱で異性化することを利用して、光異性化反応によって 3-アルキニルフロキサン **3** が収率よく得られた。合成したアルキニルフロキサンは、水素化反応やオゾン分解、Huisgen 反応などにより種々のフロキサンへと誘導できることが分かり、汎用性の高いフロキサン合成法を確立することができた。



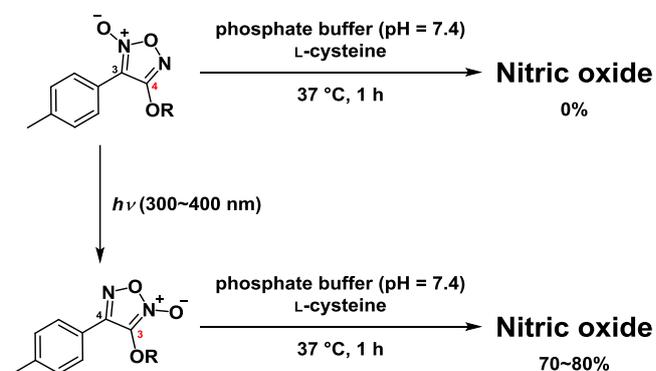
光応答性一酸化窒素ドナーの開発

高沢紗緒里、松原亮介、安藤祥大、林昌彦

理学研究科 化学専攻 博士前期課程

一酸化窒素 (NO) は血管拡張作用、抗腫瘍活性など様々な生理活性を持っており、研究対象として重要な化合物である。生体内での NO の作用機構を解明するために、時空間的に NO の放出を制御できる外部刺激応答性 NO 前駆体が求められている。我々は NO 前駆体の一つとして知られるフロキサンに着目して研究を行っている。我々の研究室では以前に、フルオロフロキサンが光で異性化し NO 放出能が変化することを見つげ、4-フルオロフロキサンが光応答性 NO ドナーとして機能し得ることを見出した。しかし、フルオロフロキサンは NO 放出率が最大でも 40%程度にとどまることや機能を持たせるために修飾できる部位が限られてしまうなどの欠点があった。そこで私は高い NO 放出能をもち、かつ修飾可能な置換基としてアルコキシ基を持ったフロキサンに着目した。

種々のアルコキシフロキサンを合成し、光照射によって NO の放出をコントロールできることを確認した。今回、NO 放出の機構も調べたので合わせて報告する。



立方晶希土類化合物 $\text{Ce}_6\text{Pd}_{13}\text{Zn}_4$ が示す相転移と同型化合物の物性大島章弘 松岡英一^A 菅原仁^A 櫻井敬博^B 太田仁^C理学研究科 物理学専攻 博士前期課程 ^A神戸大院理 ^B神戸大研究基盤セ ^C神戸大分子フォトセ

$\text{R}_6\text{Pd}_{13}\text{Zn}_4$ ($\text{R} = \text{希土類}$)系化合物は立方晶の結晶構造を持つが、希土類サイトの受ける結晶場が正方対称であるという特徴を持つ。昨年度の若手フロンティア研究会では $\text{R} = \text{Ce}$ の化合物の磁化率が 3 K 以下で一定となり、この温度で強磁性とも反強磁性とも言い難い相転移を示すことを報告した。磁化率が転移温度以下で一定になる要因として、反強磁性体における垂直磁化率が観測されている可能性がある。そこで、今回は 9 T の磁場下で粉末試料を配向させた試料の磁化率測定によって異方性を調べ、反強磁性体で見られる垂直磁化率と水平磁化率の差が現れるかどうか検証した。

図 1 に示した「磁化容易軸」と「磁化困難軸」は、それぞれ配向時に磁場を印加した方向とそれに垂直な方向の磁化率を表す。3 K の相転移が反強磁性転移であれば、配向試料の磁化率は、磁化容易軸が水平磁化率に対応したカスプを示すことが予想される。しかし、図 1 に示した $\text{Ce}_6\text{Pd}_{13}\text{Zn}_4$ の磁化率の温度依存性は、このカスプが観測されず、この結果からは相転移が反強磁性転移によるものであるとは断定できなかった。講演では $\text{R} = \text{Pr}, \text{Nd}$ の化合物の多結晶試料の測定結果についても議論する。

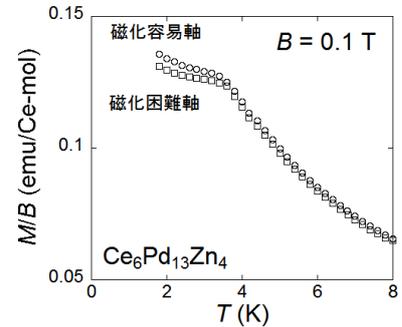


図 1 磁化容易軸，困難軸に対する磁化率の温度依存性

 $\text{LaV}_2\text{Al}_{20}$ の dHvA 効果久保智也, Pham D. C. Nhan, 松岡英一¹, 小手川恒¹, 藤秀樹¹, 播磨尚朝¹, 菅原仁¹理学研究科 物理学専攻 博士前期課程, 神戸大院理¹

プラセオジウム化合物 $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ は反強四極子秩序と超伝導が共存する重い電子系超伝導物質として盛んに研究されている[1]。 $\text{LaV}_2\text{Al}_{20}$ は、 $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ の比較物質であることに加え、それ自体が巨大な反磁性を示すことから興味深い物質である[2]。これまでの研究により、 $\text{LaV}_2\text{Al}_{20}$ の巨大な反磁性は小さなフェルミ面による大きなランダウ反磁性であると示唆されている。一方、似たような電子構造と考えられる $\text{LuV}_2\text{Al}_{20}$ は常磁性を示すことが知られており、これらのフェルミ面を比較することは、フェルミ面と磁性の因果関係を検討するうえで重要である。本研究では、 $\text{RV}_2\text{Al}_{20}$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Lu}$) のフェルミ面を比較するために、まず初めに $\text{LaV}_2\text{Al}_{20}$ のフェルミ面の全容を明らかにすることを目的とする。

右図に dHvA 振動の一例を示す。既に報告されている低い振動数に加え、比較的高い周波数の dHvA 振動を観測することができた。ポスター発表では、dHvA 振動数の角度依存性やサイクロトン有効質量、およびバンド計算との比較についても報告する予定である。

[1] Y. Shimura, et al., Phys. Rev. B, 91, 241102(R) (2015)

[2] T. Hirose, et al., J. Phys. Soc. Jpn., 84, 113701 (2015)

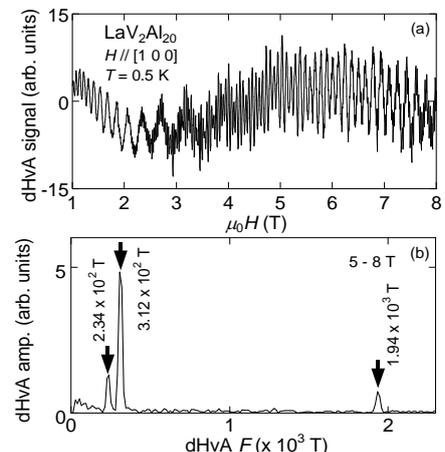


図 (a)dHvA 振動と(b)その FFT スペクトル

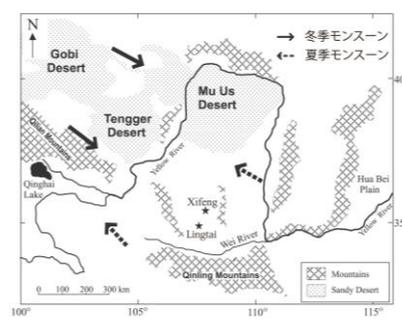
地磁気逆転期における中国黄土高原の冬季モンスーン強化

上野友輔¹、兵頭政幸²、楊天水³、加藤茂弘⁴

1. 理学研究科 惑星学専攻 博士前期課程 2. 神戸大学 3. 中国地質大学 4. 兵庫県立 人と自然の博物館

近年、銀河宇宙線と下層雲の相関が発見され、地磁気と気候のリンクの理論的裏付けがより明確になった。つまり、地磁気強度が銀河宇宙線を介して雲量を変化させ、気候を変える可能性がある。本研究では、東アジアモンスーンが地磁気の影響を受けているかどうかを調べるために、間氷期 MIS 19 について中国黄土高原のレス・古土壌層の分析を行った。同間氷期には地磁気強度が 1/5 まで減少した地磁気逆転期が起きている。

中国黄土高原のレス・古土壌層の帯磁率およびその周波数依存性は夏季モンスーン (SM)、粒度分析は冬季モンスーン (WM) の指標となる。Lingtai と Xifeng の試料を分析した結果、SM・WM とともに歳差周期(10^4 — 10^5 年)の海水準変動によく対応して変動している。すなわち、温暖な高海水準期(MIS 19.3、19.1)には SM は強化、WM は弱化、寒冷な低海水準期(MIS 19.2)にはその逆の変動が起こった。この変動パターンは他の間氷期からも数多く報告されている。しかし、千年スケールの変動を見ると、温暖なはずの高海水準期 (MIS 19.3) に WM が短期的に強まる異常期間を発見した。この異常期間は地磁気逆転に伴う地磁気強度減少期間とほぼ重なる。これは、WM の短期的強化に、地磁気強度低下に伴う銀河宇宙線の増加が関係している可能性を示唆する。



図：黄土高原地図
Yang et al. (2010) に加筆

ヘムタンパク質モデル錯体ヘミンのテラヘルツ ESR 測定

岡本翔¹、大道英二²、大久保晋³、太田仁³

理学研究科 物理学専攻 博士後期課程¹、神戸大院・理²、神戸大・分子フォト³

電子スピン共鳴 (ESR) 測定法は、物質中の不対電子周囲の電子状態に関してミクロな観点から調べることのできる手法であり、物理・生物・化学、医学、薬学など多分野で利用される。通常の ESR 測定は 1 T 未満の磁場と X-band 帯 (10 GHz) 程度のマイクロ波を用いて測定を行う。しかし、エネルギー準位間のギャップ幅がマイクロ波のエネルギーより大きい系も多数存在し、X-band 帯の測定だけでは詳細に物質中の電子状態を解明することはできない。そこで我々のグループではさらに大きなエネルギーを持つテラヘルツ波 (100 GHz ~ 10 THz) を用いたテラヘルツ ESR 測定法を開発し、物性研究を行っている。本研究では分子内の活性サイトとして Fe イオンを含む、ヘモグロビンに代表されるヘムタンパク質のモデル錯体「ヘミン」の ESR 研究を行った。X バンド帯におけるヘミンの ESR 測定は過去に多数の報告例があるが、テラヘルツ領域における ESR 測定の報告はごくわずかであり、電子状態に関する結論は得られていない。

本研究では温度 4.2 K において 0.5 THz までの多周波数テラヘルツ ESR 測定を行ったので、その結果について報告する。ヘミンは強い π -d 混成によりゼロ磁場でも大きなエネルギーギャップを持つ系であり、テラヘルツ領域の電磁波を照射することで初めて直接、ギャップに起因する信号を観測することができる。今回の測定では透過法型 ESR の手法を用いて、ギャップ由来の ESR 信号を観測することに初めて成功し、そのギャップの大きさを正確に決定した。この結果をもとに、将来的なヘムタンパク質への応用についても議論する。

カンチレバーを用いた微小力測定装置の開発

堀江秀和、大道英二、太田仁

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

近年の物理計測実験において、微小な力を精密に測定することは重要である。本研究では、マイクロカンチレバーを用いた微小力測定装置の開発を行ったので報告する。この装置では微小な力をカンチレバーの変位として検出する。変位の検出はファイバー光学系を用いた Fabry-Perot 干渉計によって行う。

Fabry-Perot 干渉計の光源として波長 1310 nm のスーパールミネッセントダイオード (SLD) を用いた。この光源はコヒーレンス長が 70 μm と短く、不要な後方干渉を抑制するのに有効である。Fabry-Perot 干渉計のキャビティは図 1 に示すように、ファイバーの端面とカンチレバーの背面で構成されている。光学系には 3 軸の移動ステージが取り付けられており、容易にファイバーの位置合わせをすることができる。カンチレバーの変位はディテクタの干渉強度の変化として検出し、1 pm 以下の変位を検出することができる。

このような微小力測定法は汎用性が高く、磁気トルク法による電子スピン共鳴(ESR)やゼロ点エネルギーの揺らぎに起因するカシミール力の測定への応用が期待される。作製した装置の詳細は発表当日に報告する。

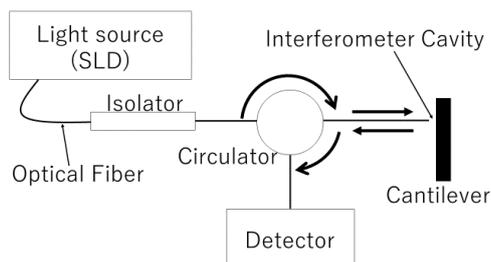


図 1: 光学系ダイアグラム

圧力誘起超伝導体 CrAs の NMR による研究

松島恵、中原慎吾、小手川恒、藤秀樹、松岡英一、菅原仁、播磨尚朝

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

CrAs は直方晶 (Pnma) : MnP 型の構造を持つ物質で、磁気転移温度 $T_N \sim 265$ K 以下で、Cr の磁気モーメントが各層ごとに螺旋状に向きを変えるヘリカル磁性を示す。この物質が圧力下で超伝導を示すことが 2014 年に報告された [1,2]。過去の我々の研究から、CrAs の超伝導は磁気揺らぎを介して実現した非従来型であることが強く示唆されており、Cr 系初の非従来型超伝導体であると位置づけられる。[3] 今回、CrAs の常磁性相での磁気相関の詳細を調べるため、圧力下で As 核 ($I = 3/2$) の NMR 測定を行った。図 1 に Knight shift の結果を示す。Knight shift は低温に向かって負の向きに発達する。磁化率測定との比較により、スピン磁化率は低温に向かって増大することが分かった。また、スピン - 格子緩和率 $1/T_1T$ 測定により磁気揺らぎの異方性についても調べている。

[1] W. Wu et al., Nature Commun. **5**, 5508 (2014).

[2] H. Kotegawa et al., J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 093702 (2014).

[3] H. Kotegawa et al., Phy.Rev.Lett. **114**, 117002 (2015).

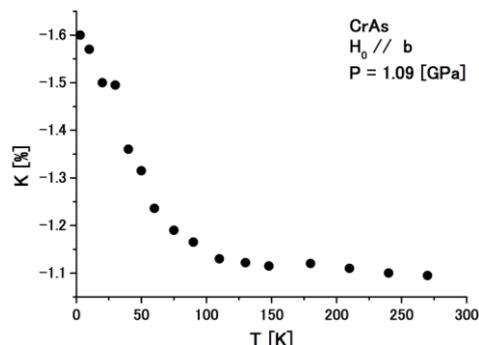


図 1. Knight shift の温度依存性

C13

CO₂濃度変化に伴うシアノバクテリアの励起エネルギー移動の変化

藤本かおり¹、嶋川銀河²、三宅親弘²、秋本誠志^{1,3}

理学研究科 化学専攻 博士前期課程¹、神戸大院・農²、神戸大・分子フォト³

シアノバクテリアは、チラコイド膜内に二つの光化学系（PS I 及び PS II）をもち、チラコイド膜外にはアンテナ色素複合体であるフィコビリソーム（PBS）が結合している。PBS に捕集された光エネルギーは励起エネルギーとして PS I、PS II に存在する反応中心へと伝達された後（図 1）、電子伝達が駆動される。電子伝達が行われた後、CO₂固定が行われる。CO₂が十分に供給されていない状況は細胞にとってストレスになる。

本研究では、高濃度 CO₂ 条件下で培養したシアノバクテリア

Synechocystis sp. PCC 6803 と *Synechococcus* sp. PCC 7942 における、高濃度 CO₂ 条件から低濃度 CO₂ 条件への移行に伴う励起エネルギー移動の変化を検討した。定常蛍光スペクトル測定と蛍光減衰曲線の測定を液体窒素温度条件下で行った。PS II から PS I へのエネルギー移動の抑制など、低濃度 CO₂ 条件への移行に伴い、励起エネルギー移動が変化することが確認された。

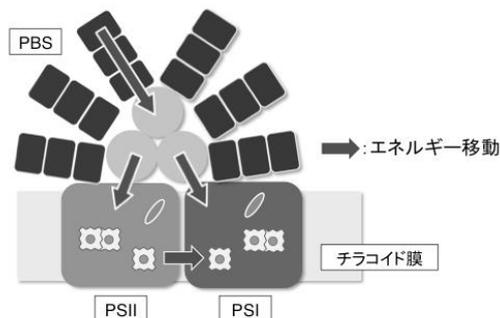


図 1 励起エネルギー移動の模式図

C14

線虫 cytochrome b_{561} ホモログ Cecytb-2 の分子機能解明

○藤村 美香、三浦 雅央、木村 哲就、鏝木 基成

理学研究科 化学専攻 博士前期課程

Cytochrome b_{561} (以下 b_{561}) は神経系内分泌小胞膜に存在する 6 回膜貫通型タンパク質である。 b_{561} 分子内の 2 つの b 型ヘムを介して細胞質側のアスコルビン酸 (AsA) 由来の電子を小胞内へ伝達し、ノルアドレナリン合成に必要な AsA を再生している。高等動物には b_{561} のホモログが 6 種存在し、その中の 1 つ Dcytb は小腸絨毛細胞表面に発現し、細胞質の AsA の還元力を利用して、細胞膜外の Fe^{3+} を Fe^{2+} へと還元する三価鉄還元酵素としての機能を有している。

この酵素活性により生じた Fe^{2+} は DMT トランスポーターにより小腸細胞内へ取り込まれる。モデル生物線虫 *Caenorhabditis elegans* のゲノムには 7 種の b_{561} ホモログ (Cecytb-1~7) が存在している。その中の Cecytb-2 は Dcytb と相同性が高く、直接 Fe^{3+} を Fe^{2+} へと還元する能力を有することがわかっている。しかし、Dcytb・Cecytb-2 共に三価鉄結合部位については未解明である。そこで本研究では、予想される Cecytb-2 の三価鉄結合部位に置換変異を導入した変異タンパク質を、メタノール資化性酵母 *Pichia pastoris* で発現させた。高純度に精製した変異タンパク質の酵素活性を測定することにより、三価鉄結合部位を特定する予定である。線虫 Cecytb-2 モデル系を用いることによって、 b_{561} ホモログの役割が解明できると考えられる。

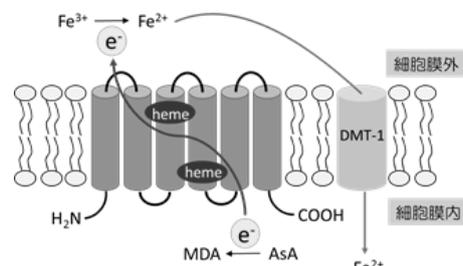


Fig. 1 Dcytb の生理機能

高感度 ESR 測定に向けたカスタムカンチレバーの作製

三木俊裕、大道英二、太田仁

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

我々のグループではマイクロカンチレバーを用いた新しい ESR (Electron Spin Resonance) 測定法の開発を行っている。マイクロカンチレバーとは MEMS (Micro Electro Mechanical systems) の一種であり、プールの飛び込み台のような形状をした μm オーダーの構造物である。ESR 吸収に伴う試料の磁化変化によって、試料を載せたカンチレバーに作用するトルクや力が変化する。そのため、カンチレバーの変位を測定することで高感度の ESR 測定が可能となる。本研究では高感度 ESR 測定に向けて、Fabry-Perot 型、静電容量型、ピエゾ抵抗型 (図 1) のそれぞれ異なる変位検出方式のカンチレバーを作製した。講演ではカンチレバー作製プロセス、性能評価について発表する。

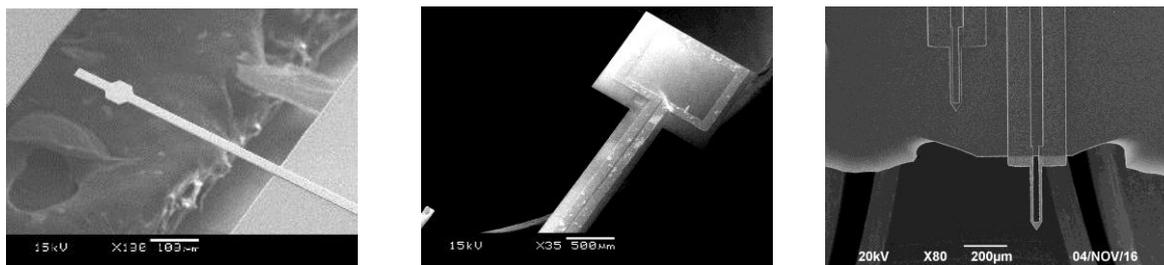


図 1: 作製したカンチレバーの SEM 画像 (左から Fabry-Perot 型、静電容量型、ピエゾ抵抗型)

磁気共鳴力顕微鏡のためのピエゾ駆動ステージの開発

宮崎晃和、大道英二、太田仁
理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

我々のグループでは カンチレバーを用いた高周波 ESR 測定を行っている。これまでの測定はカンチレバー上に乗せた試料の ESR 吸収に伴う磁化変化をカンチレバーのたわみとして検出していた。しかし、磁気共鳴力顕微鏡(MRFM)のように空間分解能を有した顕微鏡としての動作を行う場合は、磁場勾配を発生する磁気チップをカンチレバー上に配置し、その試料上で走査する必要がある。そのため、磁気チップをカンチレバーに載せる配置 (Magnet-on-cantilever 配置) における ESR 測定法の開発を行った。

まず、Magnet-on-cantilever 配置用のカンチレバーホルダーを作成し、ESR 測定を行った。また、試料空間のスピン濃度の空間分布を測定するため、3 軸のピエゾ駆動ステージを作成し、常温、77K、4K についてそれぞれ駆動を確認した。stick-and-slip と呼ばれるこの方式では、ピエゾ素子を貼り付けたサファイアロッドのレールを真鍮製パーツで引張バネを用いて挟み込こむ構造になっている。ピエゾ素子にのこぎり波形の電圧を印加し、ステージとロッドの間に働く静止摩擦力と動の違いを用いてステージを駆動する。本発表では各装置の詳細な性能と駆動テストの結果などについて報告する。

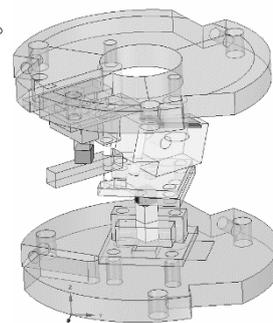


Fig.1: ピエゾ駆動ステージを用いた新型 ESR ホルダー

THz 領域における圧力下 ESR 測定装置のスピンギャップ系への応用

平尾祐樹¹、大木瑛登¹、櫻井敬博²、太田仁³、大久保晋³、上床美也⁴、田中秀数⁵
神戸大院理¹、神戸大研究基盤セ²、神戸大分子フォトセ³、東大物性研⁴、東工大院理⁵

我々は圧力発生装置としてピストンシリンダー型圧力セルを用いた最大磁場 10 T の強磁場、高圧複合極限下 ESR 測定を行っている。光源として後進行波管 (BWO) を用いてテラヘルツ領域での多周波 ESR 測定を可能としている。同装置は特に、スピンギャップ系と呼ばれる物質の圧力誘起による相転移の観測に威力を発揮することが分かってきた。

KCuCl₃ は 2 つの $S=1/2$ のスピンの強い反強磁性相互作用によりダイマーを組み、それが a 軸方向に梯子状に連なった構造をとる。基底状態が非磁性のシングレットで、励起状態のトリプレットとの間にエネルギーギャップをもつ。図は 2 K、H//[201]、常圧下で様々な周波数で ESR 測定を行った結果である。丸印で示したのは、KCuCl₃ の基底から励起状態への直接遷移に伴う ESR 信号である。様々な周波数の ESR 信号を観測することにより、ゼロ磁場でのギャップエネルギーが 600 GHz 程度と見積もることができる。このギャップが閉じる圧力の直上では新奇的な ESR モードの観測が期待されている。講演では、本物質の圧力下 ESR 測定の結果について報告する予定である。

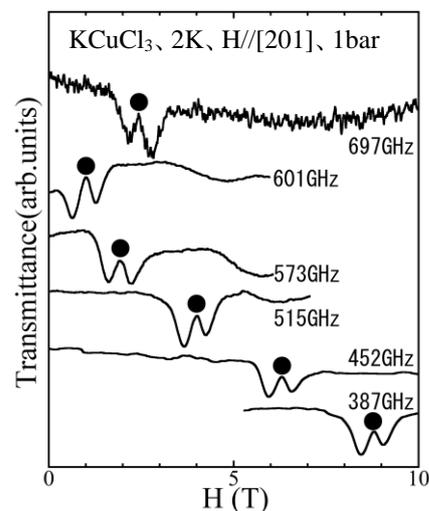


Fig. 1. KCuCl₃ の常圧下 ESR スペクトル

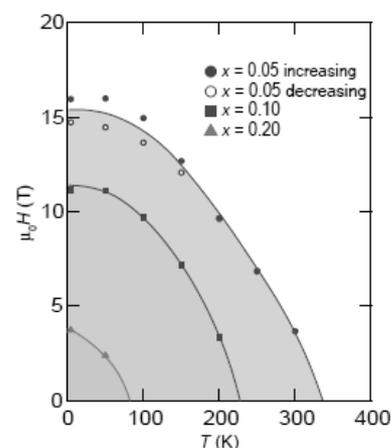
マルチフェロイック物質 $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の高周波 ESR 測定

森満新、大久保晋、櫻井敬博、原茂生、太田仁、山本孟、東正樹

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

BiFeO_3 はペロブスカイト型化合物であり、ネール温度 $T_N \sim 650$ K、強誘電転移温度 $T_C \sim 1100$ K の反強磁性強誘電体であることが知られている。Fe を Co に置換した $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ の磁性イオンは Fe^{3+} であり、置換された Co^{3+} は低スピン状態をとるため磁性を持たないとされている[1]。

$\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ では Fe の置換の割合、温度、磁場によって磁気構造が空間変調するサイクロイド構造から反強磁性構造に変化することが報告されており、図 1 では温度と磁場における磁気構造の相図が示されている[1]。色付きの領域がサイクロイド構造、色がついていない領域が反強磁性構造となっている。今回測定した $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の結晶構造は BiFeO_3 と同じ rhombohedral であり、4.2 K では 11 T に相境界を持つ。 Fe^{3+} の電子状態を明らかにする目的で $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の高周波 ESR 測定を行った。高压合成された $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の粉末試料を用いて、温度範囲は 4.2 K~265 K、周波数範囲は 50 GHz~500 GHz、最大磁場は 23 T で行った。各々の温度領域における磁気状態を広範囲な周波数-磁場領域で調べた結果を報告する。

図 1 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ の磁気相図[1][1] H. Yamamoto, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **85** (2016) 064704

OVA 誘導アレルギーモデルにおける F-フコイダンの抗アレルギー効果

坂口香奈、橋本堂史、水野雅史

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

【目的】受動皮膚アナフィラキシーモデルにおいて、マコンブ由来F-フコイダンの経口投与によりIgE高親和性レクチンであるガレクチン9が回腸上皮を介して血中に分泌されアレルギーが抑制されることを明らかにした。そこで本研究ではF-フコイダンが抗原感作による能動的なアレルギーも抑制できるか否か検討した。

【方法】BALB/cマウスにOVA/ $\text{Al}(\text{OH})_3$ を2度腹腔内投与し感作後、OVAを尾静脈投与することによりアレルギーを誘導して、直腸温度および回腸上皮細胞でのガレクチン9 mRNA発現量を定量PCRにより測定した。F-フコイダンは感作7日前から毎日経口投与した。肥満細胞株RBL-2H3細胞に抗DNP-IgEを添加して一晚培養し、リコンビナントガレクチン9を添加し2時間培養後、ウェスタンブロッティング法により細胞残存IgE量を測定した。また、DNP-アルブミンを添加し脱顆粒の指標として β -hexosaminidase活性を測定した。

【結果】OVA誘導アレルギーモデルにおいて、F-フコイダンの投与により肥満細胞活性化により生じる直腸温度の低下が緩和され、回腸上皮細胞でのガレクチン9 mRNA発現量が増加した。さらに細胞実験において、ガレクチン9の添加により細胞残存IgE量が減少し、抗原添加時に誘導される脱顆粒も抑制された。これらの結果から、F-フコイダンが回腸上皮細胞を介してガレクチン9量を増加させ、感作された肥満細胞に結合していたIgE量を引き抜くために、肥満細胞の脱顆粒が抑制されることが示唆された。以上のことからF-フコイダンは抗原感作による肥満細胞の活性化も抑制できることが明らかとなった。

S=1/2 反強磁性鎖 KCuMoO₄(OH)の ESR 測定

久保田創¹、原茂生²、櫻井敬博²、大久保晋³、太田仁³

那波和宏⁴、矢島健⁵、岡本佳比古⁶、廣井善二⁵

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程¹、神戸大研究基盤セ²、
神戸大分子フォトセ³、東北大多元⁴研、東大物性研⁵、名大院工⁶

S=1/2 ハイゼンベルグ反強磁性鎖は一次元の磁性体の最も基本的なモデルの一つであり、Cu benzoate が代表的な物質として挙げられる[1]。Cu benzoate は低温で Breather 励起と呼ばれるソリトン-アンチソリトン対による励起の ESR の吸収が観測される[2]。この現象はこれまでにいくつかの物質でしか観測されておらず新物質での観測が期待されている。結晶構造を図 1 に示す。CuO₆ 八面体が稜共有して b 軸方向に連なることで S=1/2 の一次元鎖を形成する[3]。磁化率の温度依存性は那波らによって行われている[3]。H//a の磁化率のフィッティングにより Weiss 温度は -205K と見積もられている。高温の磁化率のモデルフィッティングにより交換相互作用の大きさは J=-238K と見積もられている。結晶構造から DM 相互作用の存在が示唆されるので、DM 相互作用を持つ S=1/2 ハイゼンベルグ反強磁性体で Breather 励起が期待される新しいモデル物質である[3]。Breather 励起を観測するための強磁場 ESR 測定を行った。

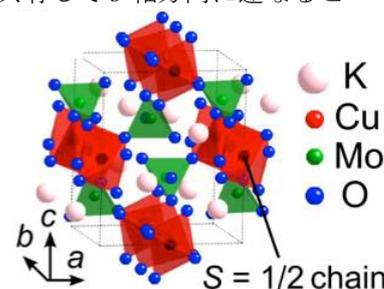


図 1 KCuMoO₄(OH) 結晶構造

[1] H. Koizumi, K. Osaki, and T. Watanabe, J. Phys. Soc. Jpn. **18**, 117(1963)

[2] T. Asano, H. Nojiri, Y. Inagaki, J. P. Boucher, T. Sakon, M. Motokawa, Phys. Rev. Lett. **84**, 5880 (2000)

[3] K. Nawa, T. Yajima, Y. Okamoto, and Z. Hiroi, Inorg. Chem. **54**, 5566 (2015)

アリルイソチオシアネートおよびその代謝物の肝がん細胞に及ぼす影響

中村紫乃、橋本堂史、網野紗与、水野雅史

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

【目的】アブラナ科植物に含まれるアリルイソチオシアネート (AITC) は細胞周期停止やアポトーシスを誘導することでがん細胞の成長を抑制することが知られている。また、生体内に吸収された AITC は速やかに代謝物へ変換されることも報告されている。そのため食事性 AITC の生体内におけるがん予防効果については、AITC だけでなく AITC 代謝物の効果も理解する必要がある。本研究では AITC の生体内におけるがん予防効果とその機序を明らかにするため、AITC 代謝物の肝がん細胞に及ぼす影響について調べることを目的とした。【方法】ヒト肝がん由来 HepG2 細胞に AITC および代謝物を作用させフローサイトメーターを用いて細胞周期停止作用およびアポトーシス誘導作用について評価した。さらに、同様の処理をした細胞中の AITC および AITC 代謝物の蓄積量を HPLC で分析した。また、細胞内総グルタチオン量をエルマン試薬を用いて測定し、細胞内 ROS 量を DCFH-DA を用いて測定した。【結果・考察】AITC だけでなく AITC 代謝物を作用させた場合にも G₂/M 期における細胞周期停止とアポトーシスが誘導された。また、AITC や AITC 代謝物を作用させた際の細胞内での主な形態はグルタチオン抱合体であった。さらに AITC や AITC 代謝物を作用させると細胞内の総グルタチオン量は減少し ROS 量は増加していた。以上のことから AITC および AITC 代謝物は細胞内でグルタチオンと結合することで細胞内レドックスに影響を及ぼし、肝がん細胞の細胞周期停止作用やアポトーシスを誘導すると考えた。

Collapse Mechanism of Small Calderas: A Case Study of The Ohachidaira Caldera, Hokkaido, Japan

Yuki Yasuda, Keiko Suzuki-Kamata

Graduate School of Science Faculty, Earth and Planetary Sciences Department, Doctor Program

In order to elucidate the collapse mechanism of small calderas, we have reconstructed the Ohachidaira caldera-forming eruption and revealed componentry of lithic fragments from the eruption product to determine the conduit evolution. The product comprises five units in proximal areas: plinian fall (SK-A), lower ignimbrite (SK-B), lithic breccias (SK-C), scoria fall (SK-D), and upper ignimbrite (SK-E). There exists a short hiatus between SK-C and -D. All units consist of dacitic pumices and andesitic scorias as juvenile components. During the eruption andesitic magma ascended alongside the conduit wall while dacitic one near the conduit center, since (1) plutonic lithics are coated with scoria rather than pumice, indicating that conduit and/or magma chamber walls composed of plutonic rocks attached to andesitic magma, and (2) the juvenile components in SK-A change laterally outward from scoria-rich to pumice-rich, suggesting that scorias ascended alongside the conduit wall and fell on closer to the vent while pumices near the conduit center and were transported farther. The plutonic lithic content is minor in SK-A (0%) to the lower part of SK-B (2%) and increases rapidly in the middle part of SK-B (50%), suggestive of a magma-chamber roof collapse. It then decreases gradually in the upper part of SK-B (26%) and decreases sharply in SK-C (2%), indicating that the collapse propagated upwards. We postulate that SK-C marks conduit collapse that produced abundant lithic fragments, choked the conduit, and stopped the eruption. The collapse model we described here is applicable to other small calderas as well.

2次元正方格子磁性体 $\text{Sr}_2\text{MnO}_2\text{Cl}_2$ の高周波 ESR 測定 2

高橋昭彦^A、大久保晋^{A,B}、原茂生^C、櫻井敬博^C、太田仁^{A,B}、松岡英一^A、菅原仁^A、
辻本吉廣^D、Su Yu^D、山浦一成^D

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程、神戸大院理^A、神戸大分子フォトセ^B、神戸大研究基盤セ^C、物材機構^D

3次元磁性体は有限温度で長距離秩序が存在するのに対し、1次元磁性体では有限温度で長距離秩序が存在しないことが知られている。2次元磁性体は、理論的にはマーミン-ワグナーの定理によって有限温度では熱揺らぎのために長距離秩序が存在しないとされている。しかし現実の物質では層間の相互作用のため高温で長距離秩序が存在することが知られている。本研究でとりあげる

$\text{Sr}_2\text{MnO}_2\text{Cl}_2$ は Mn と O で2次元正方平面を形成する2次元正方格子磁性体である。結晶構造からグッドイナフ-金森則により Mn イオン間で反強磁性相互作用が働くと予想されるが、帯磁率の温度依存性は常磁性的な振る舞いを見せ [1]、 μSR 測定では長距離秩序が見られないことから、マーミン-ワグナーの理論に適う理想的な2次元磁性体である可能性があると考えられている。本研究では、このように特異な振る舞いを見せる $\text{Sr}_2\text{MnO}_2\text{Cl}_2$ のスピンドYNAMICSを明らかにするため、ESR 測定を行った。

参考文献: [1] Y. Tsujimoto *et al.*, Chem. Commun. **50** (2014) 5915-5916

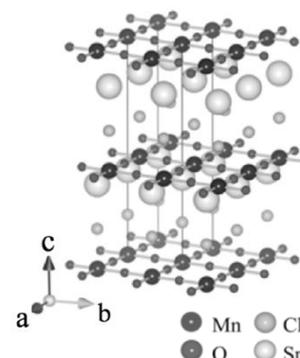


Fig. 1. $\text{Sr}_2\text{MnO}_2\text{Cl}_2$ の結晶構造

C25

Cytochrome *b561* ホモログ・ヒト SDR2 タンパク質のヒト培養細胞内局在解析及び酵母 *Pichia pastoris* を用いた異種発現系の構築

東田 怜、高橋 優馬、山添 貴子、朝田 晃一、鏑木 基成
理学研究科 化学専攻 博士前期課程

ヒト SDR2 タンパク質は三価鉄還元活性を持ち、これによって脳神経系での鉄代謝に深く関与していると提唱されている。

SDR2 タンパク質は cytochrome *b561* タンパク質のホモログの 1 つであるが、他のホモログとは大きく異なり、2つの親水性ドメイン(Reelin ドメインと DOMON ドメイン)を N 末端側に、C 末端側に cytochrome *b561* 膜貫通ドメインを持っている。親水性ドメインは脳の形成及び、神経伝達物質合成に関連しているタンパク質中に存在しているドメインである。

Cytochrome *b561* は元々、高等動物神経系において発見されたが、6回膜貫通型構造を持つタンパク質であり、2つの *b*-型 heme と配位結合することでビタミン C(アスコルビン酸)由来の膜貫通電子伝達反応を行っている。近年、シロイヌナズナ cytochrome *b561* の X 線結晶構造が報告され、電子伝達機構の解明に注目が集まっている。そこで本研究では、ヒト SDR2 タンパク質の分子生理機能及びそれぞれのドメインの機能予測を目標とした解析を試みた。ヒト培養細胞を用いて細胞内発現部位の解析を行い、さらに野生型タンパク質の機能を解析するため、メタノール資化性酵母 *Pichia pastoris* を用いた異種発現系を構築し、今回初めてヘムが結合したホロ型タンパク質の大量発現と部分精製に成功し、その分子的性質を解析した。

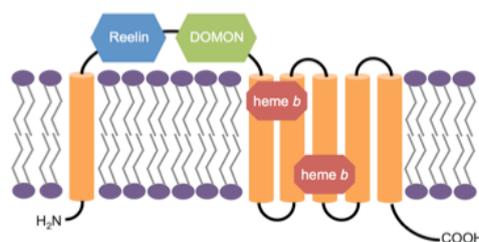


Fig. 1. ヒト SDR2 の構造予想モデル

C26

広帯域誘電分光法及び赤外分光による有機イオンの水和水の動的挙動

奈良隆史¹、太田薫²、富永圭介^{1,2}
神戸大院・理¹、神戸大・分子フォト²

水分子は分子間で水素結合をすることにより、三次元的な水素結合ネットワークを形成することができる。このネットワーク構造の揺らぎや、水分子の集団運動が、水の持つ特異性の原因であると考えられている。一方で、水和水においては水-溶質間の相互作用によりバルクと異なる振る舞いを示す。特に、疎水性物質の周囲では水分子は分子間水素結合によるかご状構造を形成しているといわれており、タンパク質の機能発現や水溶液中での有機反応はこの疎水基周辺での水和水構造と密接な関係がある。水はマイクロ波領域から中赤外領域にわたる広い周波数領域において特徴的な運動成分を持つため、疎水性物質の水和水について詳細な議論をするためには広帯域における測定が必要である。

本研究では、テトラフェニルホウ酸イオン(TPB⁻)、グアニジウムイオン(Gdm⁺)、テトラメチルアンモニウムイオン(TMA⁺)を溶質として選び、低濃度での TPB⁻ 周辺における水和水構造およびそのダイナミクスを広帯域分光法により調べた。発表では、比較のため行った他の無機塩水溶液の結果も踏まえ、イオンの水和水構造及び水和水のダイナミクスについて詳細に議論する。

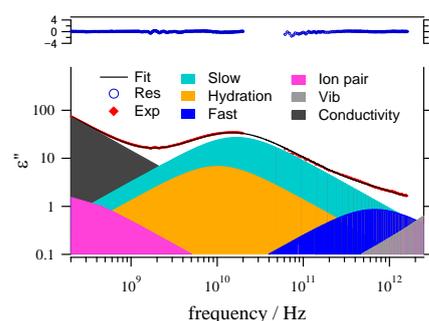


図 1. 200mM NaTPB 水溶液の複素誘電率虚部スペクトルと残差

熱電物質テトラヘドライトの NMR を用いた研究

松井隆志、松野治貴、小手川恒、藤秀樹
理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

テトラヘドライトは $\text{Cu}_{10}\text{Tr}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ (Tr:遷移元素) の組成式で表される物質群である。テトラヘドライトは温度差から発電する熱電物質として高い性能を持つ。更に環境にやさしいという点もあり熱電物質としての応用が期待されている。

物質が熱電物質として利用されるために求められる性質は低熱伝導性・高電気伝導性である。これは温度差を保ったまま発電したいという要請による。テトラヘドライトにおいては、室温領域で銅イオンが通常よりも大きな振動をしていることが知られており、この大振幅の運動が熱伝導を低く抑えているのではないかと考えられている。また、冷却すると 85 K において金属状態から半導体状態に相転移することが知られている。これは大振幅な運動を持つ銅イオンがエネルギーを失った際に起こる特異な現象である可能性があるため、今回の研究ではこの転移を含め統一的に銅イオンがもたらす性質について調べることを目的としている。

研究に用いたのは核磁気共鳴法(NMR)である。NMR は特定の原子核位置における電場や磁場といった微視的環境の情報を得ることが出来る手法である。よって今回は NMR による情報を用い、銅イオンがもたらす性質について議論する。

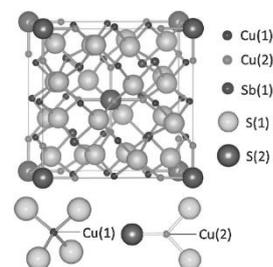


図. テトラヘドライト $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ の結晶構造
[1] K. Suekuni Appl. Phys. Express 5 051201 (2012)

ルビーの蛍光を用いた圧力較正法の圧力下 ESR への応用

川崎航平^A、櫻井敬博^C、太田仁^{A,B}

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程、神戸大院理^A、神戸大分子フォトセ^B、
神戸大研究基盤セ^C

圧力はスピン間の相互作用を連続的に変化させることのできる物性研究上欠くことのできないパラメーターである。また圧力下での電子スピン共鳴 (ESR) はスピン状態を直接的に観測する測定手法の一つである。これまで我々は圧力下での ESR 測定装置の開発を行ってきたが、圧力較正もまた重要な研究課題である。最も広く利用されている圧力較正の手法としてルビー蛍光を用いた圧力較正があるが、可視光を透過するダイヤモンドアンビルセルとの組み合わせが主であった。一方、我々の圧力下 ESR 装置では圧力セルは可視光を通さないため直接的な蛍光の観測は難しい。そこで光ファイバーを用いた、同様の圧力セルでのルビー蛍光による圧力較正手法[1]を参考に、圧力セル内の蛍光を測定するための装置を構築中した (図)。光源である DPSS レーザーから 532nm の緑色光をマルチファイバークラップを通じて圧力セル内にセットしたルビーに照射、反射光はダイクロイックミラーを通じて分光器で測定される。現在室温にて 1GPa 程度までの圧力較正に成功している。講演ではこれらの詳細について報告する。

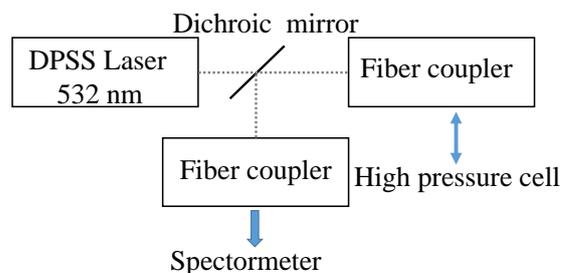


図. 分光測定のセットアップのダイアグラム

参考文献: [1] K. K-Nakazawa *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **78** (2007) 066109.

新規電子受容性配位子の合成と性質

平野真理、高橋一志

理学研究科 化学専攻 博士前期課程

酸化還元活性配位子は配位した金属イオンとの電子移動や酸化還元による金属イオン間の磁気的相互作用のスイッチングなど多彩な電子機能性を発現することが期待される。本研究では電子受容能を持つキノイド構造を基本骨格とし、配位能を持つピリジンまたはピラジンを導入した配位子 **1-3** [1] を合成し (Fig. 1a)、その錯形成を検討した。

対応するクロロピリジンまたはクロロピラジンの求核置換反応により前駆体を合成し酸化することで配位子 **1-3** を合成した。配位子の酸化還元電位を測定したところいずれも比較的高い第一還元電位を示し、電子受容性を持つことがわかった。錯形成を検討したところ、 $[\text{Cu}(\text{hfac})_2]$ と **2** の錯体が得られ、銅イオンに **2** が架橋配位した一次元鎖構造を形成しており鎖間に溶媒が含有していた (Fig. 1b)。このように電子受容性と配位能を持つ有用な機能性配位子であることが明らかとなった。

[1] H. E. Katz et al., *J. Org. Chem.*, 1991, 56, 5318.

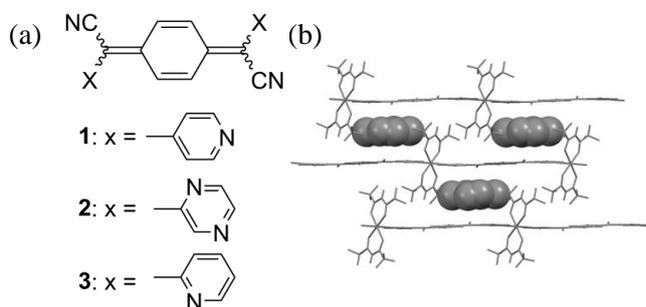


Fig. 1 (a) 配位子の分子構造 (b) $[\text{Cu}(\text{hfac})_2(\mathbf{2})] \cdot \text{PhCl}$ の構造および溶媒分子 (空間充填モデル)

C30

新規中性ヘテロレプティック鉄(III)錯体の協同的転移

村田 優¹、高橋 一志²、櫻井 敬博³、太田 仁⁴理学研究科 化学専攻 博士前期課程¹、神戸大院理²、神戸大研究基盤セ³、神戸大フォト⁴

温度、圧力、光などの外場によりスピン状態が変化するスピントロニクスオーバー (SCO) 錯体は、スイッチングユニットとして応用が期待されている。最近我々は $[\text{Fe}(\text{azp})_2]$ ($\text{H}_2\text{azp} = 2,2'$ -azobisphenol) とその誘導体がアニオン性錯体として非常に珍しい SCO 転移を示すことを報告した [1, 2]。SCO の協同性は分子間相互作用に依存すると考えられているが、 π - π 相互作用とクーロン相互作用の存在する擬似多形 [2] では配位構造が歪み高スピン状態を与えた。本研究ではクーロン相互作用を除くため、SCO 錯体を与える *qsal* モノアニオンとの中性鉄(III)錯体を合成したところ $[\text{Fe}(\text{azp})(\text{qsal})] \cdot 0.5\text{MeOH}$ (**1**) が得られた。磁化率の結果から、10 K のヒステリシスを持つ急激な SCO を示すことが明らかとなった (図 2)。また、錯体分子間には π - π 相互作用が存在し、三次元ネットワーク構造を形成していた。これらより比較的強い分子間相互作用であるクーロン相互作用は SCO の協同性に寄与せず、弱い π - π 相互作用が協同性に大きな役割を果たすことが明らかとなった。

[1] K. Takahashi et al., *Chem. Eur. J.*, 2016, 22, 1253.

[2] S. Murata et al., *Crystals*, 2016, 6, 49.

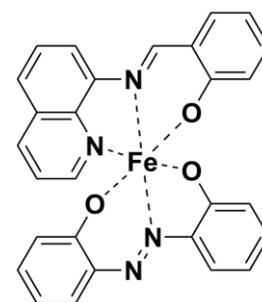


図 1.1 の分子構造

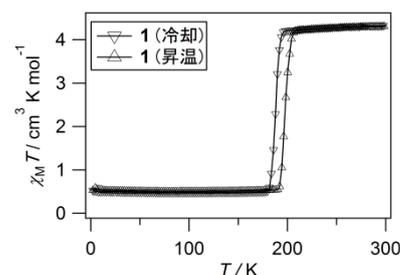


図 1.1 の磁化率の温度依存性

三角格子反強磁性体 CsCuCl₃ の圧力下 THz-ESR 測定

大木瑛登¹、櫻井敬博²、平尾祐樹¹、大久保晋³、太田仁³、上床美也⁴、田中秀数⁵、世良文香^{6,7}、
高阪勇輔^{6,7}、秋光純^{6,7}、世良正文⁹、井上克也^{6,7,8}

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程¹、神戸大研究基盤セ²、神戸大分子フォトセ³、
東大物性研⁴、東工大院理⁵、広大院理⁶、広大キラル物性研究拠点⁷、広大 IAMR⁸、広大院先端⁹

三角格子反強磁性体 CsCuCl₃ は T_N=10.7 K 以下磁場中で、120° 構造から coplanar 構造へと量子相転移する物質として知られる[1]。近年では、電気磁気効果や圧力効果など、新たな視点で注目を集めている。後者に関して、H||c、1.5 K、0.7 GPa 程度の圧力下で、明瞭な 1/3 プラトーを示すことが報告された[2]。本研究では圧力下 ESR などにより、ミクロな視点からその詳細を明らかにすることを目的としている。反強磁性共鳴 (AFMR) モードの圧力依存性について調べ、圧力に比例したゼロ磁場におけるギャップエネルギーの増大を観測した。また、圧力下での磁化測定を行った。図は、T_N の圧力依存性で、圧力増加に伴う T_N の増大を観測した。現在我々は、これらの圧力効果に寄与するいくつかの相互作用を分離して評価する試みを行っており、講演ではそれらの詳細について報告する。

[1] T. Nikuni and H. Shiba, *J. Phys. Soc. Jpn.* **62** (1993) 3268.

[2] 世良文香他, 日本物理学会第 71 回年次大会, 20pBC-13.

[3] T. Sakurai *et al.*, *J. Magn. Reson.* **259** (2015) 108.

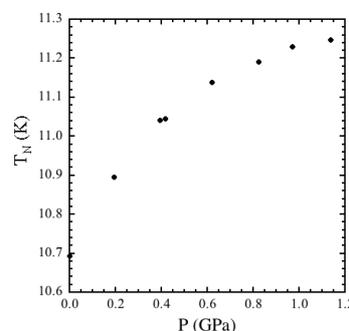


Fig. 1. T_N の圧力依存性.

S=1/2 歪んだダイヤモンド鎖化合物(Cu₃(OH)₂(CH₃CO₂)₂(H₂O)_xX_y)の 高周波 ESR 測定

宮崎大輔、Khalif Benzid、大久保晋、原茂生、櫻井敬博、太田仁、藤田渉

理学研究科 物理学専攻 博士前期課程

ダイヤモンド鎖は一次元量子磁性体であり、これに分類される物質の基底状態は大きな量子揺らぎを持つ。また、各頂点に存在するスピン間に反強磁性的相互作用が働けば幾何学的スピンフラストレーション効果も期待される。さらに、相互作用の強弱の比によって基底状態が異なることも理論的に提唱されている。

(Cu₃(OH)₂(CH₃CO₂)₂(H₂O)_xX_y) は、Cu₂₊(S=1/2)が酸素で結びついており、S=1/2 ダイヤモンド鎖のモデル化合物と期待される。X_yには有機アニオンの 2,6-Np(SO₃)₂, 1,5-Np(SO₃)₂, EtC₆H₄SO₃(Np はナフタレン)などが入る。これらによって基底状態の異なるダイヤモンド鎖の比較検証が可能である。この中で 2,6-Np(SO₃)₂は斜方晶であり、磁化率は、

70K 付近でブロードな山が、20K 付近で小さい肩が存在する。今回、上記化合物の磁気異方性を調べる目的で X-band ESR、高周波 ESR 測定を行い、吸収の温度依存性、周波数依存性について測定し、この系のスピンドイナミクスについて報告する。

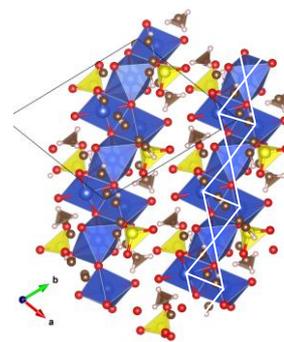


Fig. 1. 2,6-Np(SO₃)₂ の結晶構造

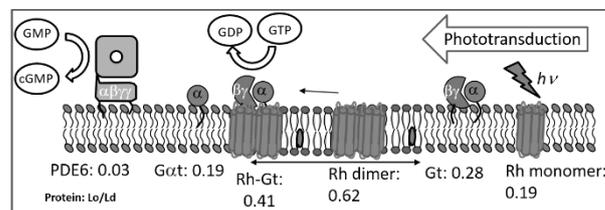
C33

パターン化人工膜を用いた脂質ラフトによる光シグナル伝達制御機構の解明

谷本泰士¹、小嶋佐妃子¹、林文夫²、森垣憲一^{1,3}

1 神戸大院・農、2 神戸大院・理、3 神戸大・バイオシグナル

生体膜は、脂質ラフトと呼ばれる二次元ドメインを形成している。脂質ラフトは膜タンパク質の局在を空間的に制御することで、光シグナル伝達を制御していると考えられている。そのため、膜タンパク質の脂質ラフト局在（ラフト親和性）は、脂質ラフトの機能的役割を評価



する上で極めて重要なパラメータである。しかしながら、生体膜中で定量的にラフト親和性を評価することは困難である。本研究ではパターン化人工膜を用いたラフト親和性の定量的な評価法を開発した^[1]。さらに、この評価法を用いて、光シグナル伝達を担う膜タンパク質のラフト親和性を定量評価した。その結果、光受容体である GPCR、ロドプシン(Rh)は、二量体の形成時にラフト親和性の上昇が観察された。また、Rh と共役して働く G タンパク質、トランスデューシン(Gt)、Gt の標的酵素、ホスホジエステラーゼが脂質ラフト外に多く存在することが示唆された。特に、活性化された Gt のラフト親和性低下が観察された。これらの挙動は、生体膜でも確認され、本研究で得られたラフト親和性は妥当な数値であると判断できる。本研究で定量されたラフト親和性を解析することで、脂質ラフトの機能が定量的に評価できると期待される。

[1] Y. Tanimoto, K Okada, F Hayashi, K Morigaki, *Biophys. J.* 11: 2307 (2015)

C34

FANCD2 新規相互作用因子の探索と機能解析

後藤 元成^{1,2}、松田 俊³、松田 知成³、菅澤 薫^{1,2}、酒井 恒^{1,2}

1. 神戸大学・バイオシグナル総合研究センター 2. 神戸大学・院理 3. 京都大学・院工・流域圏総合環境質研究センター

稀な劣性遺伝疾患であるファンconi貧血 (Fanconi anemia; FA) は、再生不良性貧血に加え、固形がんを高頻度で併発する他、先天的な奇形など多様な臨床症状を示す。また、細胞レベルでは染色体不安定性を示し、DNA 鎖間架橋剤に対して高い感受性を示すことが知られている。多数の FA 責任遺伝子が同定され、それらがコードする FA タンパク質群は、DNA 鎖間架橋損傷の修復および細胞応答に関与する「FA 経路」を形成することが明らかとなっている。DNA 損傷応答に関わる分子機構を中心に、FA 発症機序の解析が進められてきたが、FA には依然として原因不明の症状が存在する。そこで我々は FA タンパク質群が細胞内で未知の機能を持つ可能性を考え、FA 経路において中心的な役割を果たすとされている FANCD2 タンパク質の新規相互作用因子の探索を行った。まず、U2OS 細胞を親株とし、FLAG タグを N 末端に融合した野生型 FANCD2 を安定に発現する細胞株を樹立し、その細胞抽出液から FANCD2 複合体を単離した。この複合体を SDS-PAGE によって展開し LC/MS 解析を行った結果、多数のタンパク質が同定された。それらに対して遺伝子オントロジー解析を行ったところ、脂質代謝に関連する因子が多数含まれていることが判明した。同定された脂質代謝関連因子の 1 つについて免疫共沈降実験を行ったところ、FANCD2 のみならず他の FA タンパク質とも相互作用することが明らかとなった。現在、脂質代謝関連因子と FANCD2 の相互作用部位の特定を行うと共に、脂質代謝と FA 経路の相互制御関係について解析を行っている。

SmTa₂Al₂₀ の AI-NQR による研究

中瀬迅¹、三宅遼磨¹、久保徹郎¹、小手川恒¹、藤秀樹¹、山田瑛²、東中隆二²
 理学研究科 物理学専攻 博士前期課程¹、首都大院 理工²

希土類を含む金属間化合物は、低温で奇妙な振る舞いを示す。通常、Sm はサマリウムコバルト磁石で知られるように、磁性の起源となる磁気モーメントをもつため、磁気秩序すると思われがちである、サマリウムイオンを Al 原子からなるカゴ状ネットワーク内に内包させた物質をつくると、低温でさえ磁気秩序は抑えられ、伝導電子の有効質量が増大された金属状態(重い電子状態)を示すとともに、奇妙な秩序を示す。この奇妙な秩序は、現時点では未解明であり、多方面で精力的に研究されている。

我々のグループは、首都大学のグループにより発見された重い電子状態を示す SmTa₂Al₂₀ という物質[1,2] に注目し、その奇妙な物性をミクロな視点からあきらかにするために NQR(核四重極共鳴法)および NMR(核磁気共鳴法)を用いて研究を行っている。SmTa₂Al₂₀ は、極低温の比熱測定、磁化率の異常から、2.0K 付近で磁気秩序が生じていると奉公している。我々は、AI-NQR スペクトルの半値全幅と温度依存性からもわかるように、2.0K~3.0K 付近で線幅が急激な増大を発見した。(右図)、線幅の増大は Sm イオンの 4f 電子による電気四極子秩序では説明が難しく、少なくとも磁気的な秩序であると考えている。

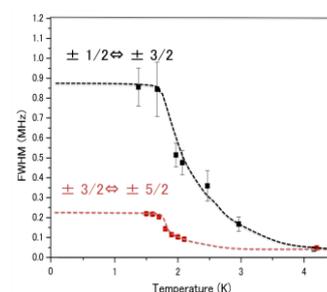


図 AI-NQR スペクトルのハンチ全幅
温度依存性

[1] R.Higashinaka et al., J.Phys.Soc.Jpn.80(2011)093703

[2] A.Yamada et al., J.Phys.Soc.Jpn.82(2013)123710

C36

イバラキウイルスの構造タンパク質 VP3 の機能解析

佐久良理沙、佐伯圭一、河野潤一、松尾栄子
 農学研究科 資源生命科学専攻 博士前期課程

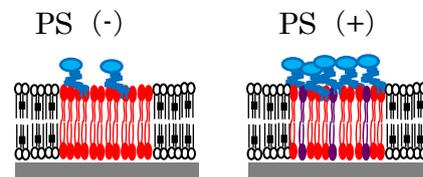
[背景と目的] 二本鎖 RNA (dsRNA) をゲノムとしてもつイバラキウイルス (IBAV) は、吸血昆虫を介して牛や水牛に感染し、畜産経済に大きな影響を及ぼすイバラキ病を引き起こす。IBAV を含むオルビウイルスでは、構造タンパク質 VP6 が VP3 と結合することでウイルスゲノムをウイルス粒子中に取り込むと考えられている。さらに、その結合には VP6 の C 末端領域が重要であることが分かっている。しかし VP3 側については未だ不明である。そこで本研究では、VP3 の VP6 結合領域を決定するとともに、VP6 結合能力を欠損した VP3 の細胞内での局在の変化を観察し、VP3 の VP6 への結合の IBAV 複製における重要性について検討した。[材料と方法] IBAV VP6 と IBAV VP3 野生型及び変異体の哺乳動物発現ベクターを IBAV dsRNA をもとに作製し、それらのベクターを用い免疫沈降法にて結合の有無を調べた。また、間接蛍光抗体法にて IBAV VP3 変異体の細胞での局在の変化を観察した。[結果と考察] 全長 899 アミノ酸残基 (aa) からなる VP3 の C 末 360 aa を欠損させた VP3 は VP6 と結合しなかった。また、免疫染色の結果を比較すると、完全長の VP3 を細胞内で発現させると顆粒状に散在していたが、C 末欠損変異体について顆粒状構造物は観察されず、細胞全体に発現していた。さらに、VP3 の N 末 500 aa を欠損させると、ウエスタンブロット及び免疫染色のどちらでも細胞内での発現は確認できなかった。以上より C 末 360 aa に VP6 結合領域が存在することが示唆された。現在、他の VP3 変異体についても研究を進めている。

パターン化人工膜を利用したNAP-2 2膜結合と凝集挙動解析

小嶋佐妃子、谷本泰士、林文夫、前川昌平、森垣憲一

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

NAP-2 2は脳に豊富に存在している膜タンパク質であるが、その詳細な機能については不明である。生体膜には脂質ラフト (DRM) とよばれる、シグナル伝達に参与する膜タンパク質が凝集する生体膜ドメインが存在している。NAP-2 2は脂質ラフトに局在していることが示唆されている。また、NAP-2 2は凝集体を形成することが知られており、イオンチャネル機能をもつと考えられている。本研究では、NAP-2 2の機能的な役割を解明するため、パターン化人工膜を用いてNAP-2 2の膜結合と脂質ラフトへの親和性を定量的に評価した。さらに凝集挙動についても解析を行った。酸性脂質 (PS) はNAP-2 2の膜への結合量を増加させ、またラフト親和性も高めるという結果が得られた。またDRMとDRMの脂質抽出物を比較するとDRMで顕著に膜結合量が多かったことから、NAP-2 2はDRM中にあるタンパク質と相互作用していることが示唆された。DRM中ではNAP-2 2の凝集形成を観察することもできた。今後は、NAP-2 2と相互作用するタンパク質の特定と凝集メカニズムの解明を行い、NAP-2 2の機能を明らかにすることを目指す。



二粒系コムギと野生2倍体コムギ *Aegilops umbellulata* の 雑種生育不全における網羅的遺伝子発現解析

岡田萌子、吉田健太郎、宅見薫雄

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

Aegilops umbellulata はUゲノムを持つ2倍体コムギ近縁野生種で、二粒系コムギとの交雑を介して合成6倍体(AABBUU)を作出できる。二粒系コムギ品種 Langdon (Ldn)に様々な系統の *Ae. umbellulata* を交雑して得られた3倍体雑種(ABU)では、正常に生育する交雑組合せ(WT)の他に、分けつが異常に多く矮性で出穂も遅れる組合せ(grass-clump dwarf)、発芽後すぐに成長を停止してしまう組合せ(Severe growth abortion: SGA)が認められる。このような雑種の生育不全は、*Ae. umbellulata* をコムギ育種に利用する際の大きな障壁となる。本研究では、雑種生育不全の全容を明らかにするために58系統の *Ae. umbellulata* の花粉をLdnと交雑し、交雑親和性、得られた3倍体の自殖種子稔性、雑種生育不全の変異を調査した。さらに、それぞれの雑種生育不全個体とWT個体との間で、マイクロアレイ解析等により遺伝子発現プロファイルの比較を行い、雑種生育不全の分子機構について示唆を得ることを目的とした。Grass-clump dwarfにおける出穂・開花の遅延は *Vrn-A1* や *TaAPI* といった開花を促進するMADS-box遺伝子群の顕著な発現低下が、分けつ数の上昇は *miR156/SPL* モジュールの発現変動がそれぞれ一因であると考えられた。SGAでは、茎頂分裂組織の維持に参与する *Wknox1* や細胞分裂に参与する *Histone H4*, *Cyclin B* 等の発現量が顕著に低下しており、茎頂分裂組織における細胞分裂異常が原因であると考えられた。

C39

Land plants drive photorespiration as higher electron-sink: Comparative study of post-illumination transient O₂-uptake rates from liverworts to angiosperms through ferns and gymnosperms

埜仁美、三宅親弘

農学研究科 生命機能科学専攻 博士前期課程

Photorespiration is the main O₂-metabolism and regenerate RuBP during CO₂-fixation by Rubisco under atmospheric CO₂/O₂ conditions. We compared photorespiratory activities of land plants (liverworts, ferns, gymnosperms and angiosperms) to elucidate changes in the photorespiratory electron-sink capacity. In vivo photorespiratory activity was estimated by the simultaneous measurement of O₂-exchange rate and chlorophyll fluorescence yield. We calculated RuBP oxygenation rate and RuBP carboxylation rate from post-illumination transient O₂-uptake rate (U), the day-respiration rate (R_d), and monitor electron sink activity as Y(II). The electron-sink capacity of photorespiration (J_g/J_{II}) was also compared. The U-R_d increase and J_g/J_{II} increase were lowest in liverworts, followed by that in ferns, gymnosperms, and angiosperms, in increasing order, with the exception of C₄ and C₃-C₄ plants. These results indicated that land plants have higher levels of photorespiratory activity than do algae. Different from aquatic environments, diffusion of O₂ is 10⁴ times larger in the atmosphere, which makes Rubisco to catch O₂ for RuBP oxygenation at higher rate. (Sejima, Hanawa, and Shimakawa et al. (2016). *Physiologia Plantarum*, 156, 227–238.) (Hanawa et al. (submitted in *Physiologia Plantarum*))

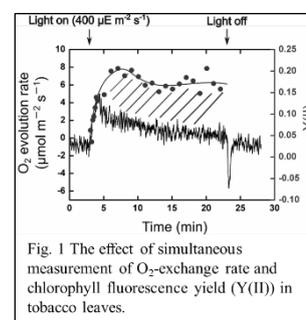


Fig. 1 The effect of simultaneous measurement of O₂-exchange rate and chlorophyll fluorescence yield (Y(II)) in tobacco leaves.

C40

野生イネおよび栽培イネの遺伝的背景における芒の長さを支配する遺伝子座の対立遺伝子間の相互作用

池本麻衣、大塚光晴、Pham Thien Thanh、石川亮、石井尊生

農学研究科 資源生命科学専攻 博士前期課程

アジアの野生イネ *Oryza rufipogon* は、現在世界で食されている栽培イネ *O. sativa* の祖先野生種である。野生イネの種子は先端に芒という細長い組織を持ち、これは自然環境で種子を生存させるために役に立っている。一方、栽培イネの多くは芒を持たない。今から約1万年前に始まった栽培化の過程で、栽培イネがどのような遺伝的機構によって芒を失ったかを検証するために、この形質がどのような遺伝子座によってコントロールされているのかを明らかにしようとした。

まず、ミャンマー由来の *O. rufipogon* W630 を栽培イネ *O. sativa* Nipponbare で戻し交雑した BC₂F₈ 集団を用いて芒に関する QTL (Quantitative trait loci) 解析を行ったところ、第4および第8染色体上の2カ所にそれぞれ寄与率が25.8%と33.2%のQTLが検出された。さらに検出された領域それぞれにおける遺伝子型を近傍マーカーで推定し、栽培イネおよび野生イネの遺伝的背景それぞれにおける対立遺伝子の相互作用を調査した。野生イネ W630 の遺伝的背景において、2カ所の遺伝子座をどちらも Nipponbare ホモ型で持つ個体は他の遺伝子型を持つ個体よりも芒の長さが短くなっていたため、Nipponbare の対立遺伝子は相加的に芒の長さを短くする効果を持つものと考えられた。しかし、全く芒が無くなることはなかったため、イネが栽培化の過程で芒を完全に失うにはさらなる遺伝子座が関与していると考えられた。

ジャポニカ型栽培イネ（日本晴）の非脱粒性に関与した遺伝子座の推定

辻村雄紀、Than Myint Htun, 沼口孝司、石井尊生、石川亮
農学研究科 資源生命科学専攻 博士前期課程

栽培イネ *Oryza sativa* は約 1 万年前にアジアの野生イネである *O. rufipogon* から栽培化されたと考えられている。種子脱粒性の喪失はイネの栽培化過程で選抜された重要な形質の一つである。種子が脱粒する原因は種子と枝梗の間に形成される離層である。これまでの研究から、ジャポニカ型栽培イネ（日本晴）の非脱粒性に関与した主要な量的形質遺伝子座（QTL）として *sh4*、*qSH1*、*qSH3* の 3 つが報告されている。しかし野生イネ *O. rufipogon* W630 の遺伝的背景において、これら 3 遺伝子座を日本晴 の対立遺伝子で置換した染色体断片置換系統(Introgression Line(IL), IL(1+3+4))は日本晴とは異なる離層形成と脱粒強度を示したことから、既知の 3 遺伝子座以外に未知の遺伝子座存在する可能性が推定された。本研究では日本晴と IL(1+3+4)を交雑して得られた F₁ を自殖させ F₂ 分離集団を作出し、脱粒強度の測定及び離層形成の観察を行った。F₂ 集団では連続的な脱粒強度の分布がみられ、日本晴の非脱粒性には既知の 3 遺伝子座以外にも他の遺伝子座の変異が関与している可能性が示唆された。また、離層の形成についても今回の分離に関与している傾向が確認された。今後は遺伝的解析を進めて未知の脱粒性遺伝子座を明らかにしていく方針である。

野生イネ *Oryza rufipogon* における穂の開帳性に関する遺伝子座と関連遺伝子の発現について

西岡 諒、 三日月 裕美、 田中 裕、 沼口 孝司、 石川 亮、 石井 尊生
農学研究科 資源生命科学専攻 博士前期課程

世界で広く栽培されている普通栽培イネ(*Oryza sativa*)はアジアの野生イネ(*O. rufipogon*)に由来する。栽培化の過程では様々な形質が人為的な選抜をうけたため、両者の形態には多くの違いが見られる。本研究では、これら栽培化関連形質の中で、穂の開帳性の違い（野生イネは開く穂を持ち、栽培イネは閉じる穂を持つ）に注目した。この形質変化が栽培化の過程でどのような現象を引き起こしたかを明らかにするため、まず野生イネに穂が閉じる形質を導入した系統を育成し、野生イネと種子回収効率を比較したところ、導入系統で有意に効率が高くなるという結果が得られた。また、生殖様式についても調査したところ、導入系統では自殖率が有意に高くなることも示され、穂の形態変化は栽培化の初期に貢献したものと考えられた。この穂の開帳性を制御する領域は QTL 解析により第 4 染色体長腕部の約 9.3 kb に推定され(寄与率 80.1%)、10 kb 下流の *OsLGI* 遺伝子の発現を調節するものであった。一方、効果は小さいものの第 5 染色体上にも穂の開帳性に関与する遺伝子座が存在することが示唆された。そこでさらに、野生イネと栽培イネの交雑集団を用いて、詳細な連鎖解析を行うとともに、これら制御領域と *OsLGI* 遺伝子の発現ならびに穂の形態の関係を調査した。その結果、*OsLGI* 遺伝子の発現量が多い個体は穂が開く傾向が見られたものの、明確な相関は得られなかった。また、第 5 染色体上の遺伝子座については、約 1 Mb の範囲に候補領域が限定された。

CeZn の強磁性量子臨界点の探索

宇賀俊士¹、小手川恒²、菅原仁²、松岡英一²、藤秀樹²
 理学研究科 物理学専攻 博士前期課程¹、神戸大院・理²

希土類元素のもつ 4f 電子の磁気モーメントには、伝導電子が磁気モーメントを打ち消す近藤効果と伝導電子を媒介として磁気秩序を引き起こす RKKY 相互作用がはたらく。4f 電子系では一般に二つの相互作用が拮抗することにより絶対零度の相転移点である量子臨界点が出現し、その近傍では、非従来型の超伝導や重い電子状態などの物性が観測される。このような物性を示す代表例として、多くの反強磁性を示す Ce 系化合物が知られているが、Ce 系の強磁性体においては報告例が少ない。そこで加圧下で強磁性秩序と近藤効果を示す CeZn に注目した。CeZn の結晶構造は常圧、常温において立方晶であり [図 1]、常圧では反強磁性体である。現在までに、多結晶において高圧下で電気抵抗測定が行われており、約 1 GPa 以上で立方晶から三方晶に構造相転移をおこし、基底状態は反強磁性から強磁性へと変わる。また、高圧の三方晶相では近藤効果の発達が観測される。

今回、CeZn の単結晶試料を育成し、インデンターセルを用いて圧力下の電気抵抗測定を行ったので、当日は、その結果について報告する。

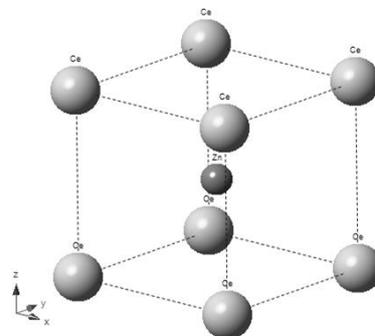


図 1 常圧下での CeZn の結晶構造

D01

重イオンビームで照射したポリカーボネートの導電性に関する研究

^A岩岡恭平, ^B藤田尚希, ^B山下裕之, ^C谷池晃, ^C古山雄一

^A海事科学研究科 海事科学専攻 博士前期課程, ^B海事科学部, ^C海事科学研究科

近年, ノートパソコンや携帯電話等の電子製品は小型・軽量化されている. それに伴い, これらを駆動させる電子部品も小型・軽量化が求められている. また, 高分子材料は無機材料に比べ, 軽くて柔軟性があり加工しやすいため, 様々な分野への応用が期待されている. そこで本研究は, タンデム加速器を用いて生成した重金属イオンビームでポリカーボネート (PC) を照射することで, 特定領域に導電性を持つ機能性高分子を作製し, その特性を調べた.

PCに 300~1000 keV の金, 銀, 銅イオンビームをフルエンス $10^{15} \sim 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ の範囲で照射し, 導電性を導入した. 抵抗値の測定は 4 探針法で行った. 500 keV の銅イオンビームで照射を行った PC では, 10^{16} cm^{-2} 以上のフルエンスで導電性が見られた. フルエンスの増加に伴い導電率が上昇し, 導電率はフルエンスに依存することがわかった. $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ で導電率が急激に上昇し, 約 2000 S/m となった. それ以上はフルエンスの増加に対して導電率の増加は見られなかった.

また, 重金属イオンで照射した PC の RBS 分析を行い, 照射前後の PC の元素分布を比較した. その結果, 重金属イオン照射後の PC の試料内部から酸素が減少していることがわかった. このことから, 重金属イオンを照射したことにより, PC を形成している鎖が切られ, 導電性を持つ新しい構造が形成されているのではないかと考えている.

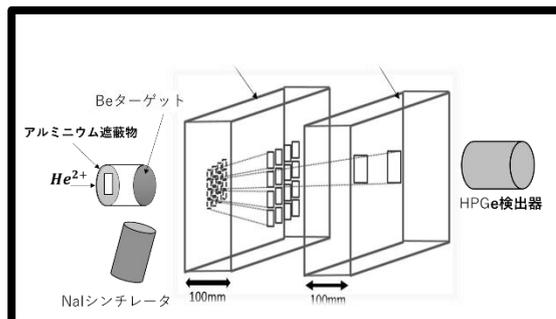
D02

核融合プラズマ診断のための高エネルギーガンマ線イメージング装置開発

西村洋亮¹, 宇都宮匠¹, 吉岡良兼², 谷池晃³, 古山雄一³, 西浦正樹⁴, 木崎雅志⁵, 土井謙太⁶

海事科学研究科¹, 海事科学専攻 博士前期課程¹, 海事科学部², 海事科学研究科³, 東京大学⁴,
核融合科学研究所⁵, 同志社大学⁶

現在, 次世代のエネルギー源として核融合エネルギーが注目されており, 核融合炉発電の実現に向けた研究開発が進められている. 核融合炉や燃焼プラズマ実験の研究を進める上で, D-T プラズマから損失し核融合炉壁へ到達するアルファ粒子を測定することが重要となる. そこで, 炉壁材料であるベリリウムと損失アルファ粒子との核反応により生成する高エネルギーガンマ線の発生位置と数量を炉外から測定することで, 損失アルファ粒子を計測する高エネルギーアルファ粒子誘起ガンマ線計測手法が提案されている. この計測に必要な高エネルギーガンマ線カメラは, 主にコリメータ式とコンプトンカメラという検出原理の異なる 2 つのガンマ線カメラが考えられている. 本研究では phits シミュレーションコードを用いて損失アルファ粒子と炉壁のベリリウムとの核反応によって生じる高エネルギーガンマ線を模擬し, 設計パラメータの検討を行った. また本学静電タンデム加速器を用いてアルファ粒子とベリリウムの核反応でガンマ線を発生させ, 実際に多孔コリメータ式ガンマ線カメラを用いてガンマ線イメージング実験を行った. この実験から多孔コリメータの設計の上 S/N 比向上のためのコリメータ形状選択, コリメータのアライメントの取り方といった検討課題があることが分かった. 図 コリメータによるガンマ線イメージング装置



Transient heat transfer of FC-72 flowing upward in vertical minitubes

Yantao Li, Katsuya Fukuda, Qiusheng Liu

Graduate School of Maritime Sciences, Thermal Engineering Department, Doctoral Program

The transient heat transfer process due to exponentially increasing heat inputs for turbulent flow of FC-72 was schematically investigated for different combinations of parameters such as flow velocity, inlet liquid temperature and period of exponentially increasing heat inputs. The ranges of Reynolds number, Re_d , and Prandtl number, Pr , were 23,400 to 81,800 and 8.4 to 10.8, respectively. The test heaters used in this study were circular SUS304 tubes with small inner diameters of 1, 1.8 and 2.8 mm, wall thickness of 0.5 mm, and heated lengths around 30, 40 and 50 mm. The effects of flow velocity, exponential period and tube inner diameter on transient turbulent heat transfer process were discussed in detail. It was clarified that the transient turbulent heat transfer due to exponentially increasing heat inputs could be analyzed by introducing a dimensionless time, Fo . The empirical correlations for transient turbulent heat transfer caused by exponentially increasing heat inputs on small diameter tubes were developed based on the effects of Fourier number, Fo , and tube inner diameter. The empirical correlations present the experimental data within $\pm 25\%$.

NRBS を用いた核融合炉ブランケット候補材の CO₂ 吸収特性評価

中村穂高、武田翼、藤原滉基、谷池晃、古山雄一

海事科学研究科 海事科学専攻 博士前期課程

重水素(D) - トリチウム(T)核融合炉の燃料に使用される T は放射性同位元素であり自然界には存在しない。そのため、核融合炉から発生する中性子とブランケット材に含まれるリチウム(Li)との核反応によって T を生産することを想定している。しかし、核融合炉ブランケット候補材である Li 金属化合物は、室温で二酸化炭素(CO₂)を吸収し、T 生産効率を低下させることが考えられる。本研究では、ブランケット候補材である Li₂TiO₃、Li₂ZrO₃ の焼結体試料を CO₂ ガス、乾燥空気、大気、湿潤空気の 4 つの雰囲気中で曝露した。曝露時間 200 時間毎に、これら試料を非ラザフォード後方散乱分光法(NRBS)を用いて分析し、元素組成を調べた。分析した試料において炭素の NRBS スペクトルが観測され、4 つの曝露雰囲気において試料の CO₂ 吸収が確認された。NRBS スペクトルから各元素の面密度を求め、特に炭素の面密度を CO₂ 吸収量として評価した。図は、曝露時間に対する 4 つの曝露雰囲気での Li₂ZrO₃ 試料の炭素面密度の推移を表している。全ての試料において、曝露時間の増加に伴って炭素面密度が増加しているが、曝露雰囲気によって炭素面密度が異なる。発表では、各試料の CO₂ 吸収特性の詳細について説明する。

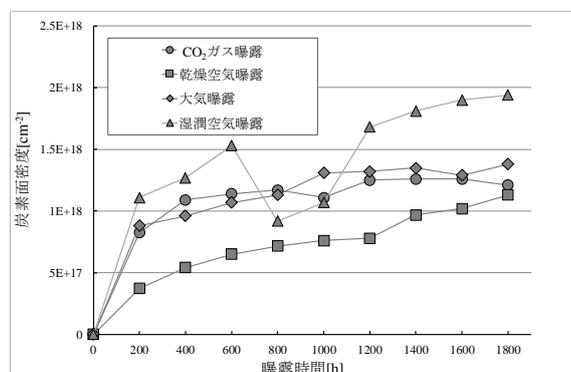


図 各曝露雰囲気での Li₂ZrO₃ 試料の炭素面密度の時間推移

核融合プラズマ診断のための高エネルギーガンマ線計測技術

宇都宮 匠, 西村 洋亮, 吉岡 良兼, 谷池 晃, 古山 雄一, 西浦 正樹¹, 木崎 雅志², 土居 謙太³
 海事科学研究科 海事科学専攻 博士前期課程, 東大新領域¹, 核融合研², 同志社大³

核融合プラズマの燃焼持続に関する問題の一つとして、閉じ込めアルファ粒子の損失が挙げられる。我々は、この損失アルファ粒子を計測する高エネルギーガンマ線カメラ開発を行っている。その原理は、炉内第一壁材料ベリリウムと損失アルファ粒子との核反応によって発生する 4.44MeV ガンマ線を利用するものである。発生したガンマ線は損失アルファ粒子の入射粒子数、エネルギーおよび第一壁への入射角度に対応してドップラー効果を受けるため、エネルギースペクトルを変形させる。

本研究では、本学タンデム加速器を用いて ${}^9\text{Be}(\alpha, n\gamma){}^{12}\text{C}$ 反応を起こし、ドップラー効果を受けた 4.44MeV ガンマ線の全吸収エネルギースペクトルについて調べた。実験の一例として、得られたスペクトルを図 1 に示す。また、核反応のシミュレーションを行い、ガンマ線スペクトルにおけるドップラーシフトの角度依存性を再現した。これらの結果を踏まえ、損失アルファ粒子の入射角度に対する計測スペクトルの変化について検討した。詳しくは発表にて説明する。

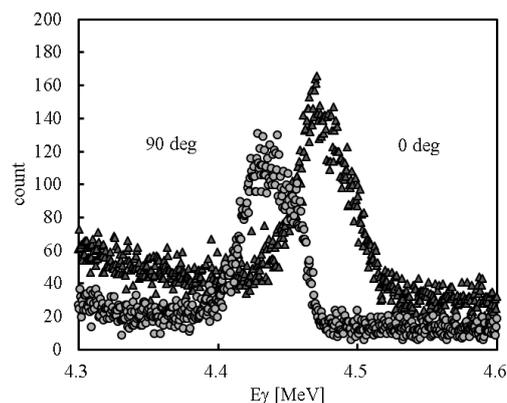


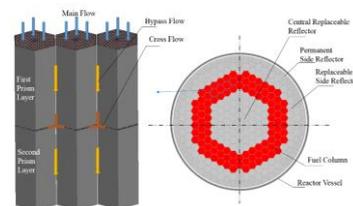
図 1 . 4.44MeV 全吸収ピークスペクトル

Numerical analysis of heat transfer within a prismatic Very High Temperature Gas-cooled Reactor

Li Wang¹, Qiusheng Liu¹ and Katsuya Fukuda¹

Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University, Thermal Engineering Department, PhD Program

The VHTR (Very High Temperature Reactor) has become the most competitive candidate for the Next Generation Nuclear Plant (NGNP) prototype concept according to the US Energy Policy Act of 2005. The existence of interstitial gaps between fuel blocks in a VHTR are inevitable due to tolerances in manufacturing and installation, thermal expansion and irradiation shrinkage. Both bypass flow and cross flow gaps exist in the core. The coolant mass flow rate distribution, temperature distribution and hot spot are significantly affected by bypass and cross flow. While the complex geometry of the fuel blocks makes the flow and heat transfer process difficult to analyze.



In the present study, three-dimensional CFD analysis is conducted for the thermal analysis in the reactor core. Effect of core bypass and cross flow during operating condition and loss of coolant accident are both investigated. The calculations are based on a 600MWth GT-MHR (General Atomics, 1996). Simulation results show the impact of each factor on temperature distribution and coolant mass flow rate distribution in the prismatic core. It is shown that the maximum fuel and coolant channel outlet temperature increases with the increase of gap size which may lead to a risk on the structure of fuel block. It is also found that the presence of the cross flow gap may have a significant effect on the distribution of the coolant in the core, which will further contribute to the hot spots in the fuel region. For the loss of coolant situation, the effects of bypass and cross gap sizes are also clarified.

若手フロンティア研究会 2016 概要集

発行日 : 平成 28 年 12 月 21 日

発行 : 神戸大学研究推部 研究推進課

住所 : 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

TEL : 078-803-5398

編集 : 研究基盤センター 研究設備サポート推進室

TEL : 078-803-5982

E-mail : csrea-morf@research.kobe-u.ac.jp