

【1.概要】

京都大学は、理学部において「未来の科学者養成講座」や「最先端科学の体験型学習講座」等(旧ELCAS)の高大接続事業を展開してきました。平成26年度から国立研究開発法人科学技術振興機構JST「グローバルサイエンス事業」に採択されたことを契機に、本学が擁する理系学部を広く巻き込んだ「科学体系と創造性がクロスする知的卓越人材育成プログラム」(新ELCAS)として、京都大学 学際融合教育推進研究センター 高大接続科学教育ユニット(ユニット長:副学長 有賀哲也)が実施・展開しています。

ELCASは受講する高校生に本学が教育理念として掲げている「対話を根幹とした自学自習」を求め、幅広い知識と高い志をもった全国の高校生が互いに切磋琢磨することにより、卓越した知の継承と豊かな創造性の涵養を目指しています。

選抜試験

選抜

基盤コース

合成化学、物理工学、地球環境学、生物学etc

選抜

専修コース

薬学、物性物理、数学
ワクワク企業etc

選抜

選抜

国際クラス

ベトナム、英国

数学的知識・論理的思考力

対象：高校1,2年生

6月～7月上旬に募集：130名程度

学理・学術体系の幅広い理解

前期：講義, 後期：実習・探究活動

成果発表合宿

尖りある高いイノベーション力を伸ばす

少人数制の対話型教育

研究室配属／実習・探究活動

成果発表合宿、ジャーナルへの英文投稿

※教員と学生による個別対応型指導、論文指導

国際社会で活躍できるリーダーシップ力の養成

一定期間の海外での研修

※受講生のうち特に優秀な生徒を選抜

＜受講生の声＞

「普段は使えない実験道具や触れることがない内容を学ぶことができ、その内容に興味を持つとともに、今学校で学んでいる内容の延長線上の内容を知ることができ、勉強意欲が湧いた。」

「科学の知識だけでなく、考えるとはどういうことか、本気で議論することがいかに楽しいかも学ぶことができた。」

「まだ習っていないことは教授や学生の方が詳しく教えてくださり、理解しやすかった。」



＜第8期実績＞

基盤コース：146名、18分野 (H27.9～H28.2)

専修コース：30名、18分野 (H28.4～H28.8)

国際クラス：12名 (ベトナムでの研修)

グローバル社会で活躍するために、「学理・学術体系への幅広い理解」と「創造先端的な尖りのある高いイノベーション力」とがクロスする知的卓越人材の養成を目指す

【2.基盤コース】

＜平成28年度基盤コース前期講義(抜粋)＞

A群	B群	C群
生物・生命	情報	環境
生物と温度について	学習する人工知能のつくりかた	水を知る
梅田 真郷	鹿島 久嗣	藤井 滋徳
工学研究科/合成・生物化学専攻	情報学研究科/知能情報学専攻	地球環境学/環境調和型産業論分野
数学・物理	数学・物理	化学・物質
宇宙はブラックホールがいっぱい ーX線天文衛星による宇宙観測ー	岩石から地球内部を読み解く	化学的手法に基づくアルツハイマー病の 新しい予防戦略
鶴 剛	河上 哲生	入江 一浩
理学研究科/物理学・宇宙物理学専攻	理学研究科/地球惑星科学専攻	農学研究科/食品生物科学専攻
化学・物質	化学・物質	生物・生命
分子レベルでみた光合成の仕組み	薬と受容体の化学	菌類学入門
竹田 一旗	加藤 博章	田中 千尋
理学研究科/化学専攻	薬学研究科/薬科学専攻	農学研究科/地域環境科学専攻

＜平成28年度基盤コース後期実習(抜粋)＞

数理工学	海洋生物の健康増進の科学	地球環境学III (廃棄物をどう使い、どう処分する?)
第1回 計算機を使って科学技術計算をするということ	第1回 ガイダンスと水産副産物からタンパク質の抽出	第1回 廃棄物の資源・エネルギーの可能性を探ろう！：廃棄物って何？
第2回 熱伝導現象の数値計算(I)	第2回 タンパク質の酵素分解	第2回 廃棄物の資源・エネルギーの可能性を探ろう！：廃棄物中の資源を測ろう。
第3回 熱伝導現象の数値計算(II)	第3回 酵素分解物の電気泳動	第3回 廃棄物の資源・エネルギーの可能性を探ろう！：廃棄物中のエネルギーを測ろう。
第4回 カオスと非線形現象(I)	第4回 酵素分解物のクロマトグラフィーによる分画	第4回 廃棄物処分の科学:粘土の役割と構造
第5回 カオスと非線形現象(II)	第5回 酵素分解物中のペプチドの分離	第5回 廃棄物処分の科学:粘土中の物質移動を探る
第6回 カオスと非線形現象(III)	第6回 質量分析系を用いたペプチド同定	第6回 廃棄物処分の科学:適切な処分場構造を考える
第7回 これまでの実習のまとめと発表準備	第7回 これまでの実習のまとめと発表準備	第7回 これまでの実習のまとめと発表準備



基盤コース前期講義



成果発表会・修了式

【3.国際クラス】ベトナム研修

地球環境学堂が主催する国際交流科目の協力のもと8月10日～17日にかけて、ベトナム研修を実施しました。

研修期間中、歴史や分野について学び、訪問地で採水し水質検査を行いました。その結果を16日に成果発表し、活発な議論が交わされました。受講生からは「日本にも取り入れるべきベトナムの文化・制度がある」などの感想が寄せられました。

＜水質分析の結果(抜粋)＞

City	Kyoto	Izumisano	Ho Chi Minh	Hue	Hue	Hue	Hong Ha
Place	KU Build.No4	KIX	Victory Hotel	Alba Hotel	Hue U of A&F	Lagoon	River
Sample	Pond Water	Tap Water	Tap Water	Tap Water	Pond Water	Lagoon Water	River Water
Date	25-Jun	10-Aug	10-Aug	11-Aug	12-Aug	14-Aug	15-Aug
pH	7.3	7.2	7.4	6.9	9.8	8.4	7.4
電気伝導度 (mS/cm)	0.117	0.2	0.113	0.073	0.137	0.141	0.028
大腸菌群 (CFU/mL)	42	0	0	0	0	82	137
一般細菌 (CFU/mL)	84	10	2	3	4	109	58



戦争証跡博物館



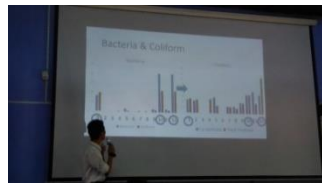
ラグーン視察・採水



Home garden視察



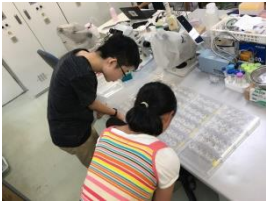
クオック・ホック高校訪問



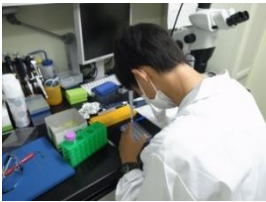
成果発表会

【4.専修コース】

基盤コース修了生を対象に4月～8月にかけて実施。少人数の対話型教育を根幹として、1～3名程度が研究室に配属され探求活動を行い、論文執筆に向けて指導を受けます。



実習の一場面



成果発表会



ELCAS Journal Volume.1

京大ELCAS発行
高校生によって書かれた
査読付き論文集

受講生の成果(平成26年度～28年度)

国際学会発表3件、国内学会発表9件、全国受講生研究発表会優秀賞9件
学術雑誌掲載論文2件、ELCAS Journal投稿論文19件

〈平成28年度開講分野一覧〉

薬科学(薬の設計と合成)	薬科学(構造生物学)	薬学(病態機能分析学)
竹本佳司、塚野千尋、小林祐輔	加藤博章、中津亨、山口知宏	佐治英郎、小野正博、渡邊裕之
薬学研究科	薬学研究科	薬学研究科

機械学習が拓く新時代	映像情報処理	物性物理化学
大関真之	美濃導彦、飯山将晃	関修平、櫻井庸明、酒巻大輔
情報学研究科	情報学研究科	工学研究科

ワクワク起業	地球環境学<大気環境化学>	地球環境学<環境農学>
松原英一郎、瀧本哲文、中原有紀子	梶井克純、坂本陽介	舟川晋也、渡邊哲弘
産学連携本部	地球環境学学	地球環境学学

土の物理	植物細胞の構造と機能	昆虫世界の謎解き
村上章、藤澤和謙、福元豊	高部圭司	松浦健二、土畑重人
農学研究科	農学研究科	農学研究科

音で観る水圏生物の生態	森林生態系の生物多様性の機能	物理
荒井修亮、市川光太郎	北山兼弘	川畑貴裕
京大フィールド研	農学研究科	理学研究科

化学	太陽物理学と宇宙天気	数学
渡邊一也	浅井歩	並河良典
理学研究科	理学研究科	理学研究科

【5.専修コースでの研究成果の紹介】

ホタルの発光反応における基質および酵素の分子構造と発光色の関係

飯尾一輝¹, 山口知宏², 村井智洋², 宇都宮裕人², 大西弘晃², 盧卡², 中津亨², 加藤博章²

¹大阪府立豊中高等学校, ²京都大学大学院薬学研究科

研究背景

ホタルの黄緑色の発光は、酵素ルシフェラーゼを触媒として発光基質ルシフェリンの化学反応によって得られるオキシルシフェリンから生じる(White, 1961; Seliger, 1961; Suzuki, 1972)。また、岩野らによって合成されたアカルミネというルシフェリン類似物は、同じルシフェラーゼによって赤色に発光する(Iwano, 2013)。これら色の違いが、基質と酵素の相互作用や発光反応のしくみの違いによるものなのか、あるいは、それら基質の化学的な性質の違いによるものなのかは不明である。そこで我々は、両基質の反応のしくみを比較することによって解答を試みた。反応のしくみを調べるためにはその反応に関わる分子を構成する原子間の立体的な位置関係が重要であり、その情報を得るための最適な手法が、X線結晶構造解析である。この解析方法を用いて、ルシフェラーゼとアカルミネの発光反応後の複合体の立体構造を決定し、ルシフェリンの場合(Nakatsu, 2006)と比較した。その結果、両基質と酵素の反応に関わる部位は立体的な位置関係がほぼ同じであることが判明した。このことから、反応メカニズムはほぼ同じと考えられ、発光色の違いは、アカルミネとルシフェリン、それぞれの化学的な性質の違いによるものであることが示唆された。

疑問点: アカルミネとルシフェリンの発光色の違いの原因は

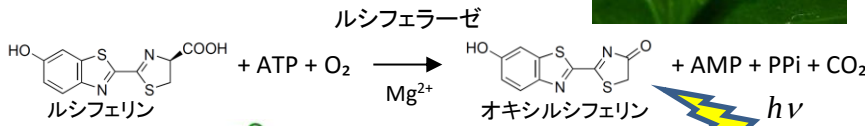
酵素と基質の相互作用の違い?



X線結晶構造解析を用いて明らかにする

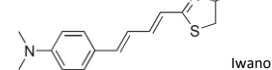
基質の化学的な性質の違い?

ホタルの発光反応の仕組み

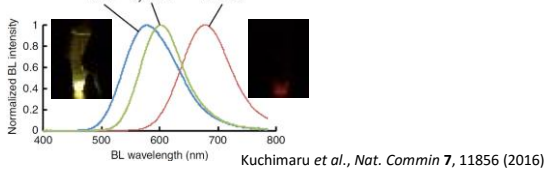


White, et al., *J Am Chcm Soc* **83**, 2402 (1961)
Seliger et al., *Proc Natl Acad Sci USA* **47**, 1129 (1961)
Suzuki et al., *Tetrahedron* **28**, 4075 (1972)

アカルミネ



Iwano et al., *Tetrahedron* **69**, 3847 (2013)



Kuchimaru et al., *Nat. Commn* **7**, 11856 (2016)

方法

結晶の作製

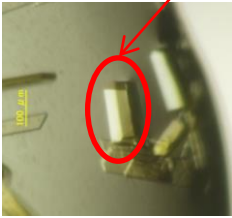
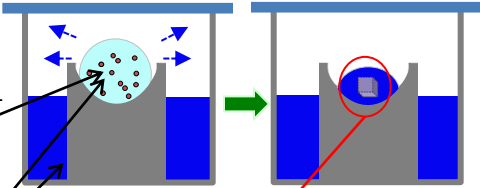
発光反応試料溶液

18 mg/mL ルシフェラーゼ
3 mM アカルミネ
5 mM ATP, 16 mM MgCl₂, & 5 mM DTT

結晶化剤溶液

0.1 M Tris-HCl(pH8.0), 0.2 M MgCl₂
24 %(w/v) PEG4000, & 1 mM DTT

蒸気拡散法の概略図



結晶の写真

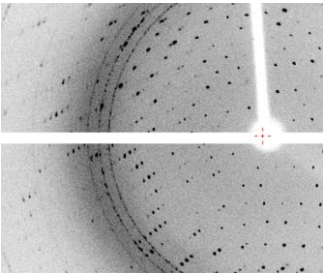
X線結晶構造解析の手順

タンパク質が
規則正しく並んでいる

結晶

X線

回折像

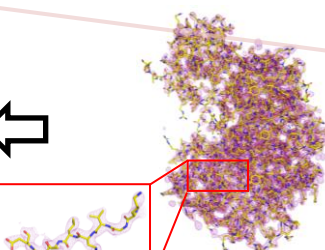


$$r(x,y,z) = \frac{1}{V} \sum_h \sum_k \sum_l \hat{a}_h \hat{a}_k \hat{a}_l |F_{(h,k,l)}| \exp[-2\pi \{i(hx + ky + lz - a_{(h,k,l)})\}]$$

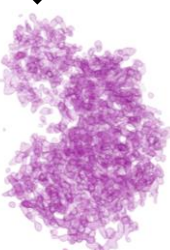
フーリエ変換



分子モデル(リボン)



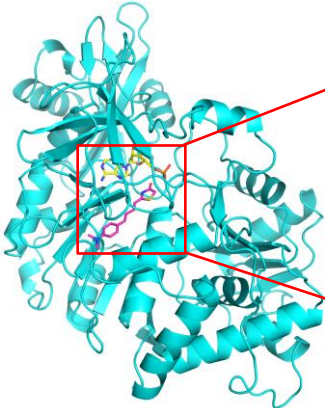
分子モデル



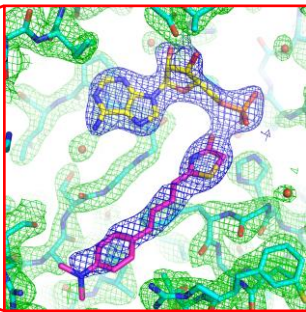
電子密度

結果

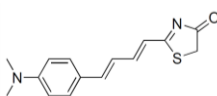
ルシフェラーゼ-オキシアカルミネ-AMP 複合体の結晶構造



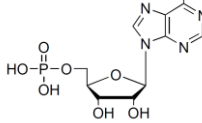
オキシアカルミネとAMP およびその電子密度図



オキシアカルミネ



AMP



まとめ

アカルミネとルシフェリンの発光反応のしくみはほぼ同じと考えられ、
発光色の違いは、両基質の化学的な性質の違いによると示唆された。

参照論文

- White, et al., *J Am Chcm Soc* **83**, 2402-2403 (1961)
- Seliger et al., *Proc Natl Acad Sci U S A* **47**, 1129-1134 (1961)
- Suzuki et al., *Tetrahedron* **28**, 4075-4082 (1972)
- Nakatsu et al., *Nature* **440**, 372-376 (2006)
- Iwano et al., *Tetrahedron* **69**, 3847-3856 (2013)
- Kuchimaru et al., *Nat. Commun* **7**, 11856 (2016)