

2011. 11

特集号



(題字：相良祐輔学長)

# 国立大学法人 高知大学学報

## 高知大学学位授与記録第五十号

法人企画課広報戦略室発行

本学は、次の者に博士（理学）の学位を授与したので、高知大学学位規則第15条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \*  
 \*  
**高知大学学報**  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

本学は、次の者に博士（理学）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

**目 次**

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
甲理博第37号	西信 洋和	H空間の分解について	1
乙総科博第5号	大山 晴香	Creation of New Fluorescent Dyes and Their Applications as Functional Materials for Light Conversion (新規な発光性色素の創出と波長変換機能材料への応用に関する研究)	3

ふりがな 氏名(本籍) 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名	にしのぶ ひろかず 西信 洋和(広島) 博士(理学) 甲理博第37号 学位規則第4条第1項該当 平成23年9月20日 H空間の分解について (1) Mathematical Sciences Kyoto University, Vol. 44, No.4, p1199-1218, 2008 (2) JP Journal of Geometry and Topology, Vol.10, No.1, p29-40, 2010  <div style="text-align: right;">           審査委員 主査 教授 逸見 豊            副査 教授 諸澤 俊介            副査 教授 近藤 康生         </div>
--	--

### 論文の内容の要旨

$p$  を奇素数とし、すべての空間は  $p$  で局所化されているとする。  $X$  を単連結で  $p$  トーションをもたない、  $\text{mod } p$  有限  $H$  空間とすれば、  $X$  のコホモロジー群は奇数次元の生成元をもつ外積代数となることが知られている。このような空間を  $\text{mod } p$  外積  $H$ -空間と呼び、生成元の個数を  $X$  の rank ということにする。  $\text{mod } p$  外積  $H$ -空間の重要な例として奇数次元球面(rank 1)、  $B_n(p)$ (rank 2)、  $p$  トーションをもたない単連結なコンパクトリー群などがある。  $B_n(p)$  について簡単に説明すると、  $B_n(p)$  のコホモロジー群は 2 つの生成元をもつ外積代数になり、生成元の次元の差は  $2(p-1)$  になっている。  $\text{mod } p$  外積  $H$ -空間の分解について知られていることを述べると、  $X$  を rank  $k$  の  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間とすると、一番大きな生成元の次元を  $(2n_{k-1})$ 、一番小さな生成元の次元を  $(2n_{1-1})$  とするとき、Kumpel[3]によって  $(2n_{k-1}) - (2n_{1-1}) < 2(p-1)$  ならば、  $X$  は  $p$ -regular であることが示された。  $p$ -regular とは  $X$  が奇数次元の球面の積に分解できるという意味である。  $2(p-1)$  より小さいという条件は最適で次元の差が  $2(p-1)$  以上になると、  $B_n(p)$  という空間が出てくるのである。次に、Mimura-Nishida-Toda[4] がコンパクト Lie 群を  $p$ -irreducible な空間の積に分解した。  $p$ -irreducible とは、もうそれ以上分解できないことを意味している。この分解には、先程述べた  $B_n(p)$  という空間が出てくる。さらに逸見[2]によって、  $(2n_{k-1}) - (2n_{1-1}) < 4(p-1)$  ならば、  $X$  は quasi  $p$ -regular であることが示された。 quasi  $p$ -regular とは  $X$  が奇数次元の球面や  $B_n(p)$  の積に分解できるという意味である。これらの事実をふまえて一般の  $\text{mod } p$  外積  $H$ -空間の  $p$ -irreducible な空間への分解について、  $(2n_{k-1}) - (2n_{1-1}) < 2(p-1)^2$  の範囲において研究した。この範囲に表れる  $p$ -irreducible な空間を構成するために、Cooke-Harper-Zabrodsky[1]の方法を用いた。この方法によると、rank  $k$  の  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間は rank  $(k-1)$  の  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間から構成できるので、rank 1 の  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間は奇数次元球面である事実を用いて、帰納的に構成できる。ただし、構成した  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間は  $p$ -irreducible であるとは限らないし、ホモトピー型も互いに異なるかはわからないので、調べる必要がある。これについて rank が 4 以下であれば、  $p$ -irreducible であり、ホモトピー型が異なるものを完全に分類することができた。さらに、構成した空間の生成元の次元は互いに異なることも得られた。つまり、次元が同じであるような  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間は rank 4 以下においては必ず分解するのである。主定理として次の事実が得られた。構成した rank 3 以下の  $p$ -irreducible な空間の中で、  $(2n_{k-1}) - (2n_{1-1}) < 6(p-1)$  であるものを列挙したとき、rank  $k$  の  $\text{mod } p$  外積  $H$  空間  $X$  が  $(2n_{k-1}) - (2n_{1-1}) < 6(p-1)$  を満たすならば、  $X$  はそれらの空間の積にホモトピー同値である。

[1] G. Cooke, J. Harper, and A. Zabrodsky, Torsion free mod  $p$  H-spaces of low rank, Topology 18 (1979), 349-359

[2] Y. Hemmi, Mod  $p$  decompositions of mod  $p$  finite H-spaces, Mem. Fac. Sci. Kochi Univ (Math) 22 (2001), 59-65

[3] P. G. Kumpel, On the  $p$ -equivalences of mod  $p$  H-spaces, Quart. J. Math. Oxford (2) 23 (1972), 173-178

[4] M. Mimura, G. Nishida and H. Toda, Mod  $p$  decomposition of compact Lie groups, Publ. RIMS, Kyoto Univ. 13 (1977), 627-6

## 論文審査の結果の要旨

論文は、与えられた素数  $p$  で局所化された  $H$  空間が、それ以上非自明な空間の積に分解できない、いわゆる既約な空間の積としてどのように分解できるかを示すものである。これは、コンパクト Lie 群に関する Mimura、Nishida and Toda の結果や、 $p$  コンパクト群に関する Davis の結果を一般の  $H$  空間に拡張しようとするものである。 $H$  空間に関する先行研究としては Kumpel の  $p$  正則性に関する定理や Hemmi による準  $p$  正則性に関する定理がある。これらの研究は、homology に  $p$  torsion を持たない  $H$  空間に対するものであり、その場合  $H$  空間の mod  $p$  cohomology 環は有限個の奇数次元の要素により生成される外積代数になる。ここで、それら生成元の次元の最大と最小の差が  $2(p-1)$ 未満である時、その  $H$  空間は奇数次元の球面の積に分解できるというものが Kumpel の定理であり、 $4(p-1)$ 未満である時、奇数次元の球面と  $B_n(p)$ と表記される rank 2 の  $H$  空間の積に分解できるというものが Hemmi の定理である。学位論文提出者は、これらの結果の拡張として、生成元の次元の最大と最小の差が  $6(p-1)$ 未満の場合を考え、この時  $H$  空間がどのような空間の積に分解されるかを調べた。そのために、まず必要と思われる rank 3 以下の既約な  $H$  空間を構成した。方法は Cooke、Harper and Zabrodsky による rank が  $p-2$  までの  $H$  空間を構成する方法である。これにより rank が 3 以下の  $H$  空間を構成し、それらの既約性を論じた後、生成元の次元の最大と最小の差が  $6(p-1)$ 未満である cohomology 環を有する  $H$  空間がそれらの積で分解されることを示している。

なお、本研究の一部は、査読付学術誌「JP Journal of Geometry and Topology」(2010) に単著により発表されており、その他 2 編の関連する論文が査読付学術誌に発表されている。さらに、残りの内容も公表の準備を行っている。また、「2007 年度日本数学会・秋季総合分科会」および「2007 年度ホモトピー論シンポジウム」において関連する研究発表を行っている。

提出された論文の内容は優れたものであり、学位申請者西信洋和は、博士（理学）の学位を得る資格があると判断する。

ふりがな 氏名(本籍) 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目  発表誌名	おおやま はるか 大山 晴香(香川) 博士(理学) 乙総科博第5号 学位規則第4条第2項該当 平成23年9月20日 Creation of New Fluorescent Dyes and Their Applications as Functional Materials for Light Conversion (新規な発光性色素の創出と波長変換機能材料への応用に関する研究) (1) Dyes and Pigments, 2011, Volume 91, Issue 3, 481-488 (2) Environment Control in Biology, 2010, 48, 127-132. (3) Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2009, 50, 319-323  審査委員 主査 教授 吉田 勝平 副査 教授 小槻 日吉三 副査 教授 米村 俊昭
--	--

### 論文の内容の要旨

近年、有機蛍光色素は染料・顔料としての従来からの利用に加え、有機オプトエレクトロニクス分野では有機 EL 発光体や高密度光記録媒体として、医療分野では蛍光プローブ、農業分野では植物栽培用光源および波長変換被覆資材用色素として様々な利用法が検討されている。そこで、本学位論文では、青、黄、赤、近赤外発光を示す新規な蛍光色素を分子設計・合成し、溶液状態および固体状態における光物性評価を行った。また、得られた蛍光色素を種々のポリマー樹脂に組み込んだ蛍光フィルムを作製し、光物性、耐光性、波長変換機能の評価を行った。その中から、発光効率や耐久性に優れた蛍光フィルムを使用して植物栽培実証試験を実施し、農業用波長変換フィルムへの応用の可能性を検討した。

第1章では、青および黄色蛍光を発する新規蛍光色素として、種々の置換基を持つ複素多環オキサゾール系蛍光色素を分子設計・合成した。得られた色素は、溶液中およびポリマー中で青色～黄色領域で強い発光量子収率(溶液中  $\Phi = 0.60-0.88$ 、ポリマー中  $\Phi = 0.47-0.88$ )を示した。固体状態では、溶液・ポリマー中と比べると強い分子間相互作用が働き蛍光消光が認められたが、高い置換基の導入により固体発光性が向上し比較的強い発光性( $\Phi = 0.43-0.63$ )を示した。また、ポリマーフィルムの耐光性は、置換基の電子的効果に大きく依存し、電子吸引性の増大に伴い光安定性も大きく向上した。ここでは、紫外光を青色光や黄色光に変換できる波長変換用蛍光フィルムを得ることができた。

第2章では、赤色蛍光を示す新規な蛍光色素として非対称型および対称型複素多環フェナジン系蛍光色素を分子設計・合成した。得られた色素は、高い平面性を持つため固体状態での発光性は弱い、溶液中およびポリマー中では非常に強い発光量子収率(溶液中  $\Phi = 0.34-0.89$ 、ポリマー中  $\Phi = 0.17-0.92$ )を示した。蛍光フィルムの耐光性は、ポリマー樹脂の種類によって大きく異なり、いずれの色素も PS (ポリスチレン) 樹脂中で最も安定であった。以上の評価結果を踏まえて、ここでは緑～黄色領域の光を赤色領域の光に変換できる波長変換用蛍光フィルムを開発することができた。

第3章では、近赤外発光を示す新規なアゾーヒドラゾン系配位子とホウ素錯体を分子設計・合成した。まず、配位子は、出発原料に 9,10-フェナントレンキノンおよび当研究室で開発した複素多環系オルトキノンを使用し、種々のフェニルヒドラジン類と反応させて合成した。いずれも配位子は弱い発光性しか示さないが、ホウ素錯体化することによって発光が大きく増大した。また、固体状態では溶液状態よりも発光性が増大した。これは、ホウ素錯体化によって、アゾーヒドラゾン互変異性およびアゾ基に隣接したフェニル基の自由回転が固定化され、無放射失活が抑制されたためと考えられる。ポリマーフィルム中におけるホウ素錯体の発光性( $\Phi = 0.42-0.54$ )や光安定性は良好であり、期待した波長変換特性を示した。

第4章では、開発した蛍光フィルムの波長変換資材としての有用性を検討するため、ラン科植物のPLB増殖段階における蛍光フィルム被覆効果について、実証試験を実施して調べた。その結果、いずれの蛍光フィルムもPLB増殖に影響することがわかった。特に、赤色蛍光フィルムはPLBの増殖数を増大させる効果があることが確認できた。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、新規複素多環系蛍光色素を分子設計・合成し、ポリマー樹脂に組み込んで波長変換用蛍光フィルムとしての機能・物性評価を行った研究の成果を英文でまとめたもので、以下の知見を得ている。

第1章では、新規な複素多環オキサゾール系蛍光色素を分子設計・合成し、吸収・発光波長、固体発光性、溶解性や耐光性に及ぼす置換基効果を明らかにした。さらに、発光効率および耐久性に優れた蛍光色素を選出して作製した蛍光フィルムを評価し、紫外光を青色光に変換できる機能を有することを確認した。

第2章では、対称型および非対称型の新規な複素多環フェナジン系蛍光色素を分子設計・合成し、異性体間における吸収波長・発光波長、溶解性や耐光性の相違を明らかにした。これらの色素を含有させた蛍光フィルムの耐光性は、ポリマー樹脂の種類によって大きく異なることを明らかにした。また、緑～黄色領域の光を赤色領域の光に高効率で変換でき且つ良好な耐光性を示す蛍光フィルムを得ることができた。

第3章では、近赤外発光を示す新規なアゾーヒドラゾン系配位子とホウ素錯体を分子設計・合成した。ホウ素錯体化することによって、吸収・発光波長の大幅な赤色移動と吸収・発光強度を大きく改善することができた。ここで作製した蛍光フィルムは、優れた耐光性を示し赤色光を近赤外光に変換できる波長変換特性を示すことを明らかにした。

第4章では、作製した波長変換用蛍光フィルムを使用して、ラン科植物のPLB増殖段階における蛍光フィルム被覆効果について調べた。その結果、いずれの蛍光フィルムもPLB増殖に影響し、特に赤色蛍光フィルムは効果が大きいことを明らかにした。これにより、蛍光フィルムの使用は、簡便組織培養法として応用できることを見出した。

以上の成果は、原著論文として、審査付の国際的学術雑誌に3編（うち筆頭著者論文1編）、および特許出願2件としてまとめられている。その他にも共著の関連論文3編がある。以上のことから、学位申請者大山晴香は博士（理学）の学位を得る資格があると判定した。