

# OCARINA通信

The OCU Advanced Research Institute for Natural Science and Technology

## —特別企画—

**産業界との連携研究拠点「人工光合成研究センター」を設立**  
—最大の謎が解かれ、世界が注目する光合成—

## —研究紹介—

小澄大輔 特任准教授  
「**紅色細菌**  
光合成アンテナにおける過剰なエネルギーの排出」

川上恵典 特任准教授  
「**ヨウ素イオンによる**  
光化学系 II 複合体の酸素発生反応の阻害機構」

## —活動報告—

OCARINA セミナー  
平成 23 年度 年次総会  
施設紹介 ICP-MS / CCD 単結晶 X 線回折装置 (VariMax with Saturn)

## —Topics—

橋本秀樹 教授  
「**CREST 研究を終えて**」

神谷信夫 教授  
「**基盤 S をスタートして**」

**神谷信夫教授 朝日賞受賞!**

木下 佑一 氏  
デザイン・イラスト

# VOL.2

## ■特別企画

# 産業界との連携研究拠点「人工光合成研究センター」を設立。 —最大の謎が解かれ、世界が注目する光合成—

大阪市立大学では、2013年春より「人工光合成研究センター」を本格的にスタート。複合先端研究機構で行われている光合成研究の成果を活かし、産業界との連携による出口を見据えた研究を加速度的に推進してまいります。そこで、今後の光合成・人工光合成研究の発展について、西澤学長、人工光合成研究センターの立ち上げに尽力されている安本理事、複合先端研究機構の機構長である木下教授、光合成研究の最大の謎を解明した神谷教授による座談会をお届けします。

光合成研究の成果を活かし、  
人工光合成の実現を目指した研究へ。

**木下教授**／複合先端研究機構は専任教員2名と特任教員7名の9名体制となり、JST（科学技術振興機構）の戦略的創造研究推進事業（CREST／さきがけ）、JSPS（日本学術振興会）の科学研究費助成事業（基盤研究S）などさまざまな研究資金を獲得して先進的な研究に取り組んでいます。中でも大きな出来事として、神谷教授が光合成の最大の謎を突き止める研究成果をあげられましたね。

**神谷教授**／光合成研究はかなり成熟した分野ですが、どうしても曖昧模糊として分からないところが1つ残っていました。それが2011年、岡山大学の沈教授との共同研究によって解明することができたのです。この研究によって人工光合成の実現可能性が高まり、世界的に研究が加速しています。

**西澤学長**／神谷先生の研究は、サイエンス誌に『2011年世界10大ブレイクスルー』の1つとして掲載されましたね。日本の国家プロジェクトである「はやぶさ」と並んで選ばれた。これはもう、大学としてさらに強化していくべきだと考えました。

**木下教授**／そうですね。神谷先生の研究成果が各方面へ大きく波及していった結果が、1つの流れとなり、この度の人工光合成研究センター設立ということにつながったのだと思っています。今後は人工光合成研究センターと複合先端研究機構が連携をはかり、最先端の機器を使いながら光合成および人工光合成の研究を進展させていくことができるようになりました。

**安本理事**／「人工光合成」を冠した研究施設は、おそらく日本で初めてでしょう。大阪市立大学には、神谷先生をはじめとして、木下先生や橋本先生といった光合成研究の先生方がいらっやいます。

さらに夢の技術と言われている人工の光合成に挑戦していくことになりますね。

**神谷教授**／よく「とても夢の多い仕事ですね」とおっしゃってくださる方がいますが、もう人工光合成は「夢」ではなく「なんとか実現したい、実現しなければならぬ」研究テーマになっているのだと思います。

企業と大学がしっかりタッグを組める、  
「共同研究講座」で研究を深める。

**安本理事**／いわゆる自然エネルギーの利用という意味では、早くスタートして、実用化に一步でも近づきたい。そういう思いがあり、基礎研究の段階ではありますが、産学連携を推進すべく提案してまいりました。その結果、大阪市の協力を得られることになり、人工光合成研究センターの設立に至ったという状況ですね。

**木下教授**／大阪市の関係者の方々と座談会などを行ったことがありますが、やはり人工光合成に対して、強い期待を持ってくださっています。

**安本理事**／通常、基礎研究は大学で取り組んでいけばいいと考えられますが、そうではないんですね。人工光合成というのは非常に大きな技術であり、将来、世の中を変えるような技術ですから、早い段階から産学連携で取り組むことは重要です。私自身が産業界の出身なので、これまでは「大学で出口を見据えた研究ができていない」という印象を持っていましたが、なかなか基礎研究における産学連携は実現できずにいました。それが今回、実現するということで、非常に重要な意味があると思います。



**木下教授**／「聖杯」とまで言われていたところを、いま、つかみ取ろうとしています。その点は産業界の方々にも期待していただいていると考えています。

**神谷教授**／僕たちはベーシックな研究をしていますので、自然で行われている光合成ではどのようなことが起きているのかを明らかにするのが仕事です。その研究成果は、人工光合成研究の立場からすると「設計図」になるのです。そしていま、その設計図となるものがみんな出そろった。だから産業界も官界も含めて、一緒になって取り組んでいこうと。

**安本理事**／そうですね。今後は工学関係の先生方も入って、本当にペイするかというところで、設計していかなければなりません。人工光合成に興味を持たれた企業と大学で共同研究室をつくり、そこへ企業からの研究者が常駐し、大学からも専任の研究者をあてる。そうした「共同研究講座」をつくっていきます。また、今後導入していく大型の研究設備などは、広く企業の方々からも使いたいという依頼があると思われまます。将来的には、オープンな研究センターとして、民間からの依頼にも応じられるような体制にしたいと考えております。

**木下教授**／こうした取り組みは、私たち研究者だけではスタートできないところ。学長をはじめとして理事の方々などの積極的な支援があつてのことだと考えています。

**社会へ、アジアへ、世界へと  
発信していける組織になるべき。**

**西澤学長**／3年ほど前、私が学長になったときに3つの重点項目を定めました。それが、「都市科学分野の教育研究の展開と大阪市のシンクタンク機能の充実」「専門性の高い社会人の育成」「国際力の強化」です。人工光合成というのは、まさに第一に掲げた

都市科学の分野にあたるもの。就任1年目から、複合先端研究機構の先生方とお話をしながら、これは大学としてもっと推進していくべきではないかと思っていました。産学連携の強化や、基礎的な学問を社会に利用してもらえるような形にまで持っていくというのも、大学の仕事だと考えています。

**木下教授**／4月以降は1つフェーズが上がることになります。複合先端研究機構の規約の中でも、「社会に対してどう発信するか」ということが問われていますが、これまではアカデミックな発信から抜け出せていませんでした。人工光合成研究センターでは、アカデミックな発信ばかりではなく、もっとアジアの社会全体を意識したような、発信力のある組織にしていかなければなりません。いま、光合成研究においては韓国や中国などと比べても、神谷先生をはじめとする日本の研究の方が優れていますよね。

**神谷教授**／基礎研究としては、いま最も進んでいると思います。

**木下教授**／その日本が、全体をリードするんだという気概を持っていかなければならないでしょう。ローカルに閉じるのではなく、大阪から発してアジア、さらに世界へ発信していく。そういった観点が、絶対に必要になるでしょう。

**西澤学長**／実際、そうですね。こうした研究は、1つの教室や1人の研究者がやることができることはありません。応用に持っていくためには、企業の手も絶対に必要。その間をつなぐ場所として、この人工光合成研究センターが成り立つと考えています。そこから先は、もっともっと社会的に応用できる部分が出てきますから、この研究所の枠を超えて取り組んでいかなければいけない時期も出てくると思います。ある一定の段階まで来たら爆発的に広がり、スピードアップしていくと思いますよ、この研究は。そこまでは、私たちがステップアップさせていかなければならないでしょう。

## ■特別企画



### profile

大阪市立大学 理事(産学連携・知財・情報担当) / 産学連携推進本部・本部長 / 新産業創生研究センター・所長

**安本 吉雄** やすもと よしお

京都大学工学部電子工学科卒業。同大学院工学研究科電子工学専攻修了。工学博士。1977年、松下電器産業株式会社(現 パナソニック株式会社)入社。同社海外R&D推進センター・センター長、理事、R&D部門技監などを経て、2010年から現職。

2030年の実用化を目指して、  
他大学とも協力しながら発展させていく。

**木下教授** / 実は、2030年の実用化を目指した人工光合成研究のロードマップを市議会に提案しています。2020年には実用化に向けたステップが始められ、2015年には全速力で研究を始められるというロードマップです。いま、そのロードマップに沿って粛々と研究できる体制が整ってきたので、まず2015年に爆発しなければならぬと思っています。もう、すぐですよ。

**神谷教授** / 正直、ハードルを高めめに設定したロードマップだと思っていましたが、複合先端研究機構の研究も着実に進んでいますし、人工光合成研究センターが動き始める時期にきましたので「これはいけるかもしれない」としています。

**安本理事** / 私もロードマップには驚きましたが、確かにいけるのかもともと感じていました。

**木下教授** / 2030年が非常に重大な年であるということは、さまざまな経済評価でも出ています。最も影響が出るのは、石油の生産量と需要量のバランスが崩れるだろうということ。シェールガスなども期待されていますが、まだまだ問題もあるので、やはり2030年問題というのは厳然としてあると思います。そのときに見通しが立っていなかったら、やはり社会的な不安すら出てくることになるでしょう。また、派生研究も生まれてきていると、人工光合成フォーラムで発表されていましたね。



### profile

大阪市立大学 複合先端研究機構長 / 大学院理学研究科教授

**木下 勇** ききのした いさむ

東北大学理学部化学科卒業。名古屋大学大学院理学研究科修了。理学博士。大阪市立大学理学部助手、講師、助教授を経て、2003年から現職。

**神谷教授** / 私たちが研究している光合成の水分解反応は、除草剤が働きかけている場所なんです。その構造が明らかになると、より効果的な除草剤をつくれるでしょう。人工光合成の水分解、酸素発生反応というところに注目していると、そういう派生技術や知識は必ず生まれていくと思っています。

**安本理事** / 2012年9月からスタートした人工光合成フォーラムは、大阪市立大学と公益財団法人 大阪市都市型産業振興センターが、共同で社会への情報発信をしていく場ですね。先日は大学の梅名先生と大阪大学の三宅先生にお話をさせていただきました。その後、企業の方々を交えて意見交換をする時間も設けていましたね。

**木下教授** / 研究発表の後の意見交換会の場では、われわれと企業だけではなく、企業間でも活発に意見が交わされていましたね。大阪大学基礎工学部の三宅先生は、われわれの研究に全面的に協力するとおっしゃっています。違う観点からの意見は貴重なので、大変ありがたいことです。また、総合応用研究に強い大阪府立大学とも全面的にタイアップしていきたいと考えています。

**西澤学長** / そうですね。前向きに共同研究を進めていきたいと考えています。

**木下教授** / 基礎研究は市大の複合先端研究機構で進め、応用研究は府大と協力しながら発展させていく。さらに産業界につながる応用については、人工光合成研究センターで進めていくことになります。



### profile

大阪市立大学 理事長/学長

西澤 良記 にしざわ よしき

大阪市立大学大学院医学研究科内科系専攻内科学2 課程修了。医学博士。大阪市立大学助手、講師、助教授、教授、医学部附属病院副院長、医学研究科長・医学部長、米国トーマスジェフアソン大学客員教授を経て、2010年から現職。

人工光合成研究を花咲かせ、  
若い研究者たちを活性化していきたい。

木下教授/われわれが取り組んでいる研究は、具体的にはハイブリッド人工光合成となります。天然系の光合成研究が世界のトップレベルであることを活かし、天然系と人工系、両方を合わせた人工光合成の開発に取り組んでいます。天然系がいいところもあれば、人工系でうまくいくところもあるので、そこをうまくやっていく。実は、人工光合成では「モジュール化」という言い方をされています。光を集めるところ、水を集めるところ、CO<sub>2</sub>を還元するところなど、それぞれを高度に発展させていき、最終的にそれらを総合していくと。それによって、いろいろな派生技術が出てくるのだと思います。

安本理事/産業界といっても、いろいろな業界がありますから、プラントメーカーや石油会社、家電メーカーなど、それぞれがそれぞれの立場で参画してもらえると考えています。最も実用化が早いのは何になるのか、まだ分かりません。それは研究の進捗状況や各方面の意見をもとに、どこに向かっていくのかを決めていくことになるでしょう。

西澤学長/社会へ還元するというのを考えると、企業との共同研究、応用研究を進展させて花を咲かせなければなりません。また一方で、芽を育て花を咲かせるためには、しっかりした地盤となる基礎的な研究の人材を確保しなければいけません。一見、こ

の2つは両立しないように思えますが、ある分野の花を咲かせることができれば、若い人たちが興味を持って集まってきて、その分野だけでなく全体的に研究を活性化することができると思っています。

木下教授/神谷先生は、岡山大学の沈建仁教授とともに取り組んだ「光合成における水分解・酸素発生の分子機構の解明」において、2012年度朝日賞を受賞されましたから、今後、多くの情報を発信しなければならぬ立場になりますね。

神谷教授/人工光合成が本当に達成された世界というのは、その時代に生きている人が人工光合成は当たり前のことだと思っている世界。そこまで到達させようとするためには、学生や企業の若手研究者などを活性化するための情報を出し続けるということが、非常に重要だと思っています。そのための大学の役割、あるいは複合先端機構としての役割は、非常に大きいと思っています。すでにさまざまな問い合わせをいただいております。ニーズがあることは分かっているため、できる限り応えたいと思っています。

木下教授/私たちが生きている世界は、光合成できています。石油など古代の光合成の産物でエネルギーを賄えなくなったら、いま現代の光合成で賄うしかない。エネルギー問題だけでなく、世界を理解するには光合成が大きな鍵になるでしょう。春からは複合先端研究機構と人工光合成研究センターで協力し合いながら、光合成および人工光合成の研究を進展させていきます。



### profile

大阪市立大学 複合先端研究機構/大学院理学研究科教授

神谷 信夫 かみや のぶお

名古屋大学理学部卒業。同大学院博士課程修了。理学博士。理化学研究所研究員、副主任研究員、理化学研究所播磨研究所（大型放射光施設SPring-8）研究技術開発室 室長を経て、2005年から現職。2012年度朝日賞を受賞。

## ■ 研究紹介

### 紅色細菌 光合成アンテナにおける 過剰エネルギーの排出

#### profile

大阪市立大学 複合先端研究機構 特任准教授

小澄 大輔 こすみ だいすけ

青山学院大学理工学部物理学科卒業(2002年)。東北大学大学院理学研究科物理学専攻修了(2007年)。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員を経て(2006~2011年)、2011年4月より現職。



短時間に強いエネルギーを出力するフェムト秒パルスレーザー光を紅色光合成細菌アンテナに照射し、10フェムト秒(百分分の1秒)ごとの電子励起状態を記録することで、カロテノイドからバクテリオクロロフィルに伝達されたエネルギーの内、40%が再びカロテノイドに戻っていることを明らかにした。研究成果は、独国学術雑誌「*Angewandte Chemie, International Edition*」(50, 1097-1100, 2011)に掲載された。

#### ●光合成アンテナの役割

植物及び細菌類の光合成アンテナ系は、カロテノイドと(バクテリオ)クロロフィルという2つの色素分子とそれを取り囲む周辺タンパク質で構成される。これらの色素分子及びタンパク質の空間配列は、種によって異なっているが、紅色細菌由来のアンテナ系では、リング状の超分子集合体を形成していることが知られている。(バクテリオ)クロロフィルは、主に近紫外及び近赤外域の光を吸収するため、太陽の輻射強度が強い可視域の光を有効に利用することができない。そのため、もう一つの光合成色素であるカロテノイドが可視光を吸収し、そのエネルギーを(バクテリオ)クロロフィルへ超高速かつ高効率に伝達している(光捕集)。このエネルギー伝達過程は、カロテノイドと(バクテリオ)クロロフィルの電子励起一重項状態間で行われる。(バクテリオ)クロロフィルへ伝達されたエネルギーはアンテナ間を移動し、最終的に光エネルギーが生体組織にとって利用可能な電気化学エネルギーに変換される反応中心に渡される。

#### ●過剰な光からの保護作用

光合成組織に過剰な光が照射されると、(バクテリオ)クロロフィルの電子励起三重項状態が生成され、その結果、光合成組織に有害な一重項酸素の発生が促進される。このような一重項酸素の発生を阻害するため、光合成器官では(バクテリオ)クロロフィルの励起三重項状態エネルギーをカロテノイドの励起三重項状態に伝達することにより、過剰な光から組織を保護している(光保護)。一方、太陽の輻射強度が比較的強い地表付近に棲息する高等植物のアンテナ系では、過剰に供給された光により生成されたクロロフィルの励起一重項状態を三重項状態に変換される前に熱として外部に放出する(non-photochemical quenching: NPQ)。NPQは、上記のような励起三重項状態を介するエネルギー移動とは異なり、励起一重項状態を無輻射過程により消失するため、器官から効率的にエネルギーを外部へ散逸させることができる。このように、強光に照射される環境に棲息する植物は、光を集めることよりも光から生体組織を保護する機能を発達させている。

#### ●紅色光合成細菌アンテナ系における色素分子間逆エネルギー移動

カロテノイドと(バクテリオ)クロロフィルの励起一重項状態間において、下方向的にエネルギー伝達が行われるとすると、カロテノイドから(バクテリオ)クロロフィルへの一方向的なエネルギー移動

のみならず、図に示すように(バクテリオ)クロロフィルからカロテノイドへの逆エネルギー移動も可能であることがわかる。例えば、紅色光合成細菌アンテナ系では、バクテリオクロロフィルの励起一重項状態  $Q_x$  からカロテノイドの励起一重項状態  $S_1$  への励起エネルギー移動が可能である。我々は、この点に着目し、バクテリオクロロフィルからカロテノイドへの逆エネルギー移動経路の探索をフェムト秒時間分解計測により試みた。その結果、図に示すように紅色細菌 *Rhodospirillum rubrum* S1 由来の集光アンテナでは、カロテノイドが吸収しバクテリオクロロフィルへ伝達された光エネルギー(43%)の内、17%が再びカロテノイドに逆戻りしていることが明らかとなった。この逆エネルギー移動は、バクテリオクロロフィルの  $Q_x$  状態とカロテノイドの  $S_1$  状態で行われ、量子効率40%かつエネルギー移動速度(75フェムト秒)<sup>-1</sup> という高効率及び超高速エネルギー移動である事が明らかとなった。紅色細菌 *Rhodospirillum rubrum* S1 由来の集光アンテナにおけるエネルギー伝達の研究は古くから数多く行われ、カロテノイドからバクテリオクロロフィルへのエネルギー移動効率は30%と非常に低効率である事が知られている。にもかかわらず、集光したエネルギーの内40%をカロテノイドに戻しているということは、*Rhodospirillum rubrum* S1 由来の集光アンテナにおける逆エネルギー移動は、高等植物と同様に効率的な光保護作用であると考えられる。

#### ●人工光合成アンテナ創出に向けて

光合成アンテナにおけるエネルギー伝達効率を決定している要因は、カロテノイドから(バクテリオ)クロロフィルへの励起エネルギー移動である。紅色細菌由来アンテナ系のエネルギー伝達効率(30~100%)及びの吸収波長領域(450~550 nm)は、結合するカロテノイドに依存する。本研究で用いた *Rhodospirillum rubrum* S1 のように、長波長域(550 nm)の光を吸収するアンテナの低エネルギー伝達効率が、バクテリオクロロフィルからカロテノイドへの逆エネルギー移動に起因するのであれば、その機構を詳細に解明し制御する技術が確立されることで、より広帯域の光を吸収し高効率の人工光合成アンテナの創出が可能になる。

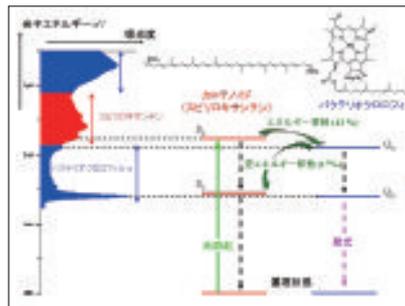


図 紅色光合成細菌 *Rhodospirillum rubrum* S1 由来集光アンテナにおけるエネルギー伝達の概略図。

## ヨウ素イオンによる 光化学系II複合体の 酸素発生反応の阻害機構

### profile

大阪市立大学 複合先端研究機構 特任准教授

川上 恵典 かわかみ けいすけ

2005年3月 岡山大学理学部生物学科卒業  
2010年3月 岡山大学自然科学研究科バイオサイエンス  
専攻修了。理学博士  
2010年4月 大阪市立大学理学研究科構造生物化学研究  
室に日本学術振興会特別研員として配属  
2011年7月 現職  
専門分野：植物生理学、光化学系II複合体のX線結晶構造  
解析



### ヨウ素イオンは植物の酸素発生反応を阻害する

光化学系II複合体(PSII)は、太陽光エネルギーを生物が利用可能な化学エネルギーに変換するとともに、水分解・酸素発生反応を触媒する膜蛋白質複合体である。この反応を触媒する $Mn_4CaO_5$ クラスターの周りには多数の水分子と幾つかのイオンが存在し、水分解反応によって放出されたプロトンを効率良くPSIIの外側へ排出する役割をもつ。PSIIの光化学反応によって形成される酸素分子は地球上の多くの生命が生きていく上で必須なものであるが、其の、PSII内で起こる水分解・酸素発生の仕組みは未だ完全には理解されていない。この反応の仕組みを完全解明し、その成果を人工光合成研究の発展に繋げることが、我々光合成研究者の使命の1つである。

これまでの研究で、PSIIの酸素発生反応には塩素イオン( $Cl^-$ )

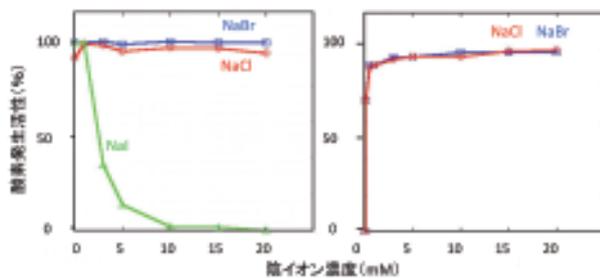


図1: 各陰イオン濃度におけるPSIIの酸素発生反応の影響。 $Cl^-$ と $Br^-$ では活性値は変化しないが、 $I^-$ ではイオン濃度が上昇するにつれて活性は低下する。

が関与し、 $Cl^-$ は同族元素である臭素イオン( $Br^-$ )及びヨウ素イオン( $I^-$ )と交換可能であることがわかっている。 $Cl^-$ を $Br^-$ に交換した場合、PSIIの酸素発生活性値は変化しないが、高濃度 $I^-$ 条件下ではPSIIの酸素発生活性値はゼロになってしまう。ところが、 $I^-$ による酸素発生阻害は可逆的な反応であり、 $I^-$ に交換した後、再度 $Cl^-$ または $Br^-$ に交換すると酸素発生活性値は回復する(図1)。

### ヨウ素イオンによるPSII内部の立体構造変化

X線結晶構造解析は蛋白質の立体構造を決定するために利用する最も有効な手法であるが、解析精度は作製する蛋白質結晶の質に大きく左右される。特に、PSIIなどの膜蛋白質複合体は非常に不安定であるため、良質な結晶がほとんど作製できない。我々の研究チームは、長い年月をかけてPSII結晶の高品質化の研究に取り組み、高品質PSII結晶の作製条件を決定し、PSIIの詳細な立体構造解析に成功した(Umena et al., *Nature*, 2011)。この条件を用いて $I^-$ に交換したPSII結晶を作製・構造解析を行うことで、 $I^-$ によるPSII内部の微細な立体構造変化を理解することが可能となった。

$I^-$ (I-1)が結合した周辺のアミノ酸残基の構造変化が起こり、また水分子の分布の変化も確認された。さらに、 $Cl^-$ や $Br^-$ が結合する部位でない箇所にも $I^-$ (I-3)が結合しており、 $I^-$ に交換したことによるPSII内部の立体構造変化が実際に確認された(図2)。

PSIIの酸素発生反応の阻害機構を明らかにすることで、 $Mn_4CaO_5$ クラスターの反応機構の理解につながり、 $Mn_4CaO_5$ クラスターの構造を模倣した人工触媒研究の発展に貢献すると期待される。

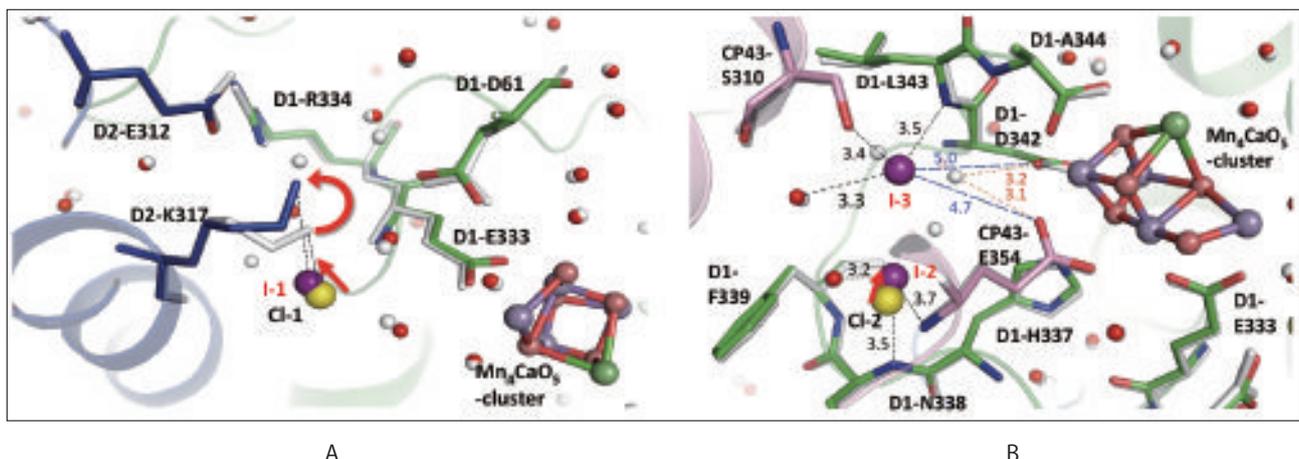


図2: (A)  $I^-$ 交換による1つ目の $Cl^-$ ( $Cl-1$ )の結合部位付近の構造変化。リジン残基の配置変化が確認され、陰イオンの位置も変化している(赤矢印)。(B)  $I^-$ 交換による2つ目の $Cl^-$ ( $Cl-2$ )の結合部位付近の構造変化。陰イオンの位置が変化し(赤矢印)、さらに新しい $I^-$ (I-3)が結合している。数値の単位はÅ。

# 活動報告

## OCARINA セミナー

複合先端研究機構では、国内外のリーディングサイエンティストを招待して不定期に講演会を開催しています。本年度からは、学生主体の自主ゼミである「DISCO Party \*注」の「大セミナー」も OCARINA セミナーとしてゲストを招いて開催し、学生の研究についての議論を、教職員を含む多くの方々と共有する活動を行っています。

\*注) Doctor course students' Incorporated Scientific COmmunication (DISCO) Party

OCARINA の後期博士課程の学生が、分野の垣根を越えて互いの研究への理解を深め合い、相互発展させるために本年度設立した自主ゼミ。週 1 回の学生のみでの小セミナーに加え、年に数回の大セミナーを企画している。

### 第 1 回

開催日：2010 年 10 月 27 日 場所：2 号館 220B  
 ゲスト：小倉 哲也（本機構・客員教授）  
 「アガベから作るテキサラ・イヌリン・アガベシロップ」

### 第 2 回

開催日：2011 年 3 月 31 日 場所：2 号館 220B  
 ゲスト：渡會 仁（阪大・ナノサイエンスデザイン教育研究センター・招聘教授）  
 「次世代グリーンエネルギー開発のため、液界面のナノケミストリー外場を使った新しい分析原理と地場分析化学の創出について」

### 第 3 回

開催日：2012 年 2 月 17 日 場所：学情 1F 文化交流室  
 ゲスト：山下 正廣（東北大・理・教授）  
 「単分子量子磁石を用いた量子分子スピントロニクス——野茂とイチローはどちらが偉いか？——」

### 第 4 回

開催日：2012 年 4 月 28 日 場所：2 号館 220A 号室  
 ゲスト：張 健平（Dept. of Chem., Renmin University of China）  
 "Morphological Effect on the Photogeneration of Charge Carriers in P3HT/PCBM Blend Films"  
 "Excitation Dynamics of the Light-Harvesting complexes of Purple Bacterium Thermochromatium tepidum"

### 第 5 回 (DISCO Party 大セミナー #1)

開催日：2012 年 7 月 3 日 (火) 場所：2 号館 220B  
 ゲスト：安岡 則武（本機構客員教授、タンパク結晶）  
 「タンパク質立体構造に基づく創薬」  
 学生：山東 磨司（分子設計学研究室 D1）

### 第 6 回 (DISCO Party 大セミナー #2)

開催日：2012 年 8 月 30 日 場所：2 号館 220B  
 ゲスト：林 宜仁（金沢大学・准教授、金属酸化物）  
 「金属酸化物分子の化学」  
 学生：浦上 千藍紗（生体・構造物性物理学研究室 D1）

### 第 7 回

開催日：2012 年 10 月 19 日 場所：学情 1F 文化交流室  
 ゲスト：古澤 満（株式会社ネオ・モルガン研究所 創業者/最高科学顧問）  
 「不均衡進化論」

### 第 8 回

開催日：2012 年 10 月 23 日 場所：学情 1F 文化交流室  
 ゲスト：天尾 豊（大分大・工・准教授、(独) JST さきがけ「藻類バイオエネルギー」領域研究者 兼任）  
 「ソーラー燃料・物質生産のためのハイブリッド型人工光合成システムの創製」

### 第 9 回 (DISCO Party 大セミナー #3)

開催日：2012 年 11 月 19 日 場所：学情 1F 文化交流室  
 ゲスト：John T. Kennis (Vrije University・教授、時間分解分光)  
 「Carotenoids in Photosynthetic Light Harvesting and Photoprotection」  
 ゲスト：Anjali Pandit (Vrije University・研究員、固体 NMR)  
 「In Shape for Photosynthesis」  
 ゲスト：手木 芳男（本学・理・教授、ESR）  
 「Spin Alignment and Spin Dynamics in Photo-Excited States of  $\pi$ -Radicals」  
 学生：堀部 智子（生体・構造物性物理学研究室 D3）  
 学生：川本 圭祐（分子設計学研究室 D1）

### 第 10 回

開催日：2012 年 12 月 11 日 場所：学情 1F 文化交流室  
 ゲスト：藤井 律子（本機構・特任准教授、(独) JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」領域研究者 兼任）  
 「海洋藻類の光合成～太陽光を効率よく集める仕組みの解明と人工光合成への応用～」

### 第 11 回 (DISCO Party 大セミナー #4)

開催日：2013 年 1 月 24 日 (木) 場所：2 号館 220B  
 ゲスト：館野 賢（兵庫県立大・教授、理論化学）  
 「プロトン移動が関与する生物機能メカニズムの理論解析」  
 ゲスト：福島 佳優（本機構・特任助教、低温分光）  
 「青色受容体 TePixD の低温分光による光反応中間体解析」  
 学生：古池 美彦（構造生物学研究室 D1）

## The 4th Annual meeting

## 平成23年度 大阪市立大学 複合先端研究機構 年次総会

▶開催日時 2012 年 3 月 5～6 日

▶招待講演者

- 井上 晴夫（首都大学東京 戦略研究センター・教授/JST 戦略的創造研究推進事業個人型研究さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域研究総括）
- 沈 建仁（岡山大学 大学院自然科学研究科・教授）
- 杉浦 美羽（愛媛大学 無細胞生命科学工学研究センター・准教授）
- 石谷 治（東京工業大学 大学院理工学研究科・教授）
- 緒方 英明（マックスプランク研究所）
- 樋口 芳樹（兵庫県立大学 大学院生命理学研究科・教授）
- 加藤 昌子（北海道大学 大学院理学研究院・教授）
- 正岡 重行（分子科学研究所）
- 星野 幹雄（理化学研究所）
- 荒井 重義（ヒルリサーチ有限公司 代表取締役）
- 天尾 豊（大分大学工学部応用化学科・准教授）

学内講演者

- 神谷 信夫（大阪市立大学・複合先端研究機構/大学院理学研究科・教授）
- 橋本 秀樹（大阪市立大学・複合先端研究機構/大学院理学研究科・教授）



▶シンポジウム概要

第 4 回目のシンポジウムは、「梅名・川上・神谷・沈」による PSII の酸素活性中心の解明が学術雑誌サイエンスの 2011 年 10 大ブレイクスルーに挙げられたというトピックスを契機として、エネルギー・資源・生態系など、環境を含めた全人類に係る複合的および先端的な研究課題としての人工光合成及びその関連分野に焦点をあてて全国有数の研究者を招待し、活発な議論を行いました。また、戦略的研究経費・重点研究「都市環境の再生に向けた戦略的新展開」の最終年度報告会を併設し、3つのグループそれぞれの 4 年間における活動の総括を行いました。

## 施設紹介 ICP-MS

下中智美

ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry : 誘導結合プラズマ質量分析法) は、ICP をイオン源とした質量分析法である。高周波誘導コイル内の高周波磁界によって生じた誘導電流で、アルゴンガスを電離し、生成したプラズマのことを ICP という。このアルゴンプラズマ中に試料溶液を噴霧することで、試料中の測定対象元素は熱分解され、多くの元素は 90%以上の効率でイオン化される。ICP-MS は、このようにしてプラズマ中に生成したイオンを質量分析計に導入し、直接検出するため、きわめて高感度な分析が可能で、無機質量分析法である。

ICP-MS は、①非常に高感度であり、ほとんどすべての元素で ppt レベルの低濃度測定が可能である、②ダイナミックレンジが 9 桁と広い、③多元素同時分析が可能であり、定量分析だけでなく、定性・半定量を組み合わせた成分分析も可能である、④同位体比の測定が可能である、といった極めて優れた特性を有している。本学に設置されている装置 [日立ハイテクサイエンス (旧: SII Nano Technology Inc.)、SPQ9700] では溶液として試料を導入する。そのため、試料を溶液化すれば、多様な組成を有する広範な試料の元素・同位体分析に適用可能である。例えば、河川水・地下水・温泉水・土壌・岩石といった地球化学・環境試料、食品、生体試料、鉄鋼や貴金属などの金属材料、半導体関連材料、高純度試薬、廃棄物・社会的規制物質などの分析に適用されている。また、ICP-MS は、水質や土壌の環境基準に

おける公定分析法として採用されており、今日では様々な分野における微量元素の定量分析に欠かせない分析法の一つであり、現在もっとも優れた無機微量分析法として広く普及している。

環境中における元素は、酸化数や構造などが異なるいくつかの化学形態で存在しており、その化学形態により人体に対する毒性、および環境中での挙動が異なることが知られている。化学形態と毒性等との関連性のある元素 (ヒ素、クロム、スズ等) の化学形態別分析の重要性が増している。ICP-MS は、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) との結合が可能であるため、HPLC を用いた分離分析における検出器としても利用できる。複合分析法として、HPLC/ICP-MS は、微量元素の化学形態別分析へと応用展開され、利用されている。[島津製作所、LC-6A]

2009 年導入から現在までに、地下水、温泉水、土壌中のヒ素分析、河川水中の微量元素分析、岩石中の希土類元素分析、ヒ素の形態別分析、植物中の鉛分析といった分析を行っている。



## CCD単結晶X線回折装置(VariMax with Saturn)

宮原郁子

電子密度分布から直接分子の全体構造を決定する単結晶 X 線構造解析は、有機化合物や有機金属錯体を扱う化学分野から、薬剤候補化合物や結晶多形、共結晶を扱う薬学分野まで幅広く利用されています。分子のほんのわずかな構造の違いが物性や生理活性に決定的な影響を与えることも多いため、信頼性の高い構造決定が可能でこの解析法は非常に強力な分析手段です。今回導入される単結晶構造解析装置は世界最高峰の高輝度 X 線と高感度の CCD カメラを組み合わせて、さらにビーム径やカメラ長の変更を可能にし、微小結晶や長い格子をもつ結晶に対応可能となった X 線解析装置です。

### 微小焦点高輝度 X 線発生装置 (RA-Micro7HFM)

結晶回転対陰極方式で最大定格出力 1.2kW で、小分子で多くの回折点を精度よく測定するのに用いられる Mo ターゲットを採用。



### Mo ターゲット用分解能可変 X 線集光ミラー (Conforcal Mirro "VariMax Mo")

湾曲型人工多層膜ミラーを 2 枚用いた集光工学系で、2 枚の多層膜ミラーは直行配置し、立体的に X 線の集光が行える。世界最長のミラーは高輝度で単色性の高い X 線を得ることができる。

### CCD 検出器 (Saturn724)

格子定数の大きいサンプルでも高分解能のデータ収集が可能となる大検出面積 (72 × 72mm) でカメラ長を変更することが可能、かつ幅広いダイナミックレンジ (22 bit/pixel) をもち、さまざまなサンプルの測定に対応する。また、高感度 (180electron/pixel/photon) でかつスーパーローノイズ (0.2electron/pixel/sec) を達成することにより、微小結晶の弱い回折点を精度よく検出できる。

さらに試料観察および結晶外形吸収補正用の高倍率 CCD カメラに 1/4  $\chi$  型ゴニオメータ、試料吹き付け低温装置を組み合わせることで、効率のよい高い精度での測定を可能になります。

超電導や分子磁性、有機 EL などを実現する新たな機能性物質の開発や、無機・有機触媒の開発、天然物の基本骨格を含めたリード化合物に基づく創薬、天然の光合成系を模倣した人工光合成システムの開発など、幅広い研究領域のそれぞれの発展に今後役立っていく予定です。

# Topics



## profile

大阪市立大学 複合先端研究機構 教授

## 橋本 秀樹 はしもと ひでき

関西学院大学大学院理学研究科修了。理学博士。大阪市立大学工学部助手、静岡大学工学部助教授を経て、2002年から大阪市立大学理学研究科教授。2008年、複合先端研究機構設立時からプロジェクトリーダーを務める。2010年から複合先端研究機構専任教授（理学研究科兼任）。

## CREST 研究を終えて

平成 19 年 10 月より 5 年半の期間で、JST の CREST に採用して頂き、「光合成初期反応のナノ空間光機能制御」と言うタイトルで勢力的にプロジェクト研究を推進しました。CREST 研究の最終評価を終了し、極めて高い評価を頂戴しました。この場を借りて、過去 5 年間に行った CREST 研究の成果を総括したいと思います。

本研究は、人工的に光合成膜を作製し、新たな分光法を駆使して、励起エネルギーの移動を伴う光合成の初期過程を解明し、デバイスとしての利用指針を確定することを目的に実施されました。この結果、人工の光捕集色素タンパク質複合体の調製法を確立、人工光合成膜の高分解能 AFM（原子力間顕微鏡）画像の取得に成功、フェムト秒コヒーレント分光法を用いて電子と分子振動のダイナミクスを統合的に解明、これによって光合成の初期過程において重要な役割を担うカロテノイドとバクテリオクロロフィル間の励起エネルギー移動機構の全容を解明しました。また、光合成色素の構造と機能解明に極めて有効な電場変調吸収（EA）分光法について、統一的な理論を確立しました。

このように、光合成初期反応の動作機構解明に関して、実験・理論の両面から緻密な検討を積み重ね、この分野で世界をリードする数々の研究成果を上げることができました。研究成果は、世界トップレベルのジャーナルに数多くの論文（総計 124 編）として報告し、国際会議、国内会議を含めて、積極的に外部発表を行いました。また、国際会議における多数の招待講演の依頼を受けていることから、研究代表者のグループが、この分野を世界的に先導していると自負しています。

光合成アンテナ系における人工色素タンパク質複合体の機能解明とデザイン合成技術は、自然界の機能を理解するにとどまらず、自然界の限界を突破するスーパー光合成の実現やデバイス技術を応用した色素増感型太陽電池、さらには直接燃料発生など、科学・技術的価値の高い派生成果を生みだしており、それらが実用化されれば、疑いもなく、社会的影響も大きなものとなると期待しています。

本 CREST 研究をベースに、平成 25 年春に人工光合成研究センターが発足、産学連携による次世代エネルギー（Solar fuels）開発が実稼動する予定です。



## profile

大阪市立大学 複合先端研究機構 教授

## 神谷 信夫 かみや のぶお

高エネルギー物理学研究所／放射光実験施設客員研究員、理化学研究所副主任研究員、理化学研究所播磨研究所（大型放射光施設 SPring-8）研究技術開発室室長を経て、2005 年から大阪市立大学理学研究科教授。2010 年から複合先端研究機構専任教授。

## 「基盤（S）をスタートして」

科学研究費補助金・基盤研究（S）「光合成・光化学系 II 複合体の原子分解能における酸素発生機構の解明」が、平成 24 年度より 5 年間、研究代表者：神谷信夫教授（本機構）、研究分担者：八ッ橋知幸教授（理学研究科物質分子系専攻、本機構に兼務）、連携研究者：川上恵典特任准教授（本機構）と梅名泰史特任准教授（本機構）の体制でスタートした。

多くの地球生命は光合成によって生きており、光合成は人類の持続可能な社会を実現するためにもっとも重要なもののひとつである。光化学系 II 複合体（PSII）は太陽光を吸収して水を分解し、分子状酸素とともに電子とプロトンを発生させている。神谷らは平成 23 年 4 月、PSII で水から酸素を発生させている Mn<sub>4</sub>CaO<sub>5</sub> クラスターの詳細な化学構造を、世界で初めて 1.9 Å の分解能で解明した（*Nature* (2011) **473**, 55-60）に発表した。これは酸素発生反応を説明する 5 つの中間状態（Kok サイクルの S1 状態、i=0 ~ 4）の内 S1 状態に対応するものであったが、今回の基盤研究（S）ではさらに S0 状態と S2 状態の X 線結晶構造解析を行い、人工光合成で水分解・酸素発生触媒を開発する際に必要とされる基礎的情報を提供することを目的としている。本研究ではまず（1）PSII の酸素発生に関与する塩素イオンを臭素イオンまたはヨウ素イオンと入れ替えた 2 種類の置換体、（2）酸素発生に連動する電子移動を停止させる除草剤 5 種類との複合体、（3）遺伝子操作により PSII の小分子量サブユニットのひとつ（PsbM）を欠失させた変異体の合計 8 種類の結晶についてそれぞれの X 線構造解析を行う。これら

## ◆ 新人紹介



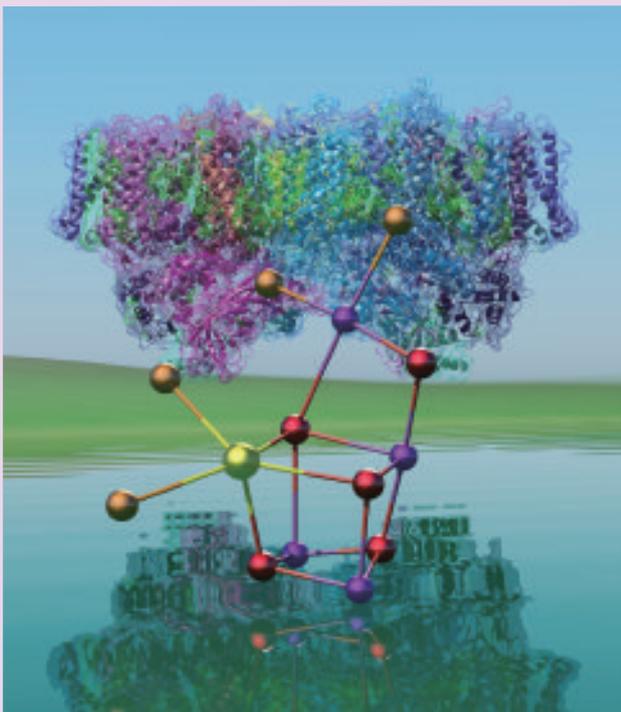
## profile

大阪市立大学 複合先端研究機構特任助教

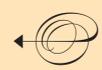
## 福島 佳優 ふくしま よしまさ

名古屋大学理学部物理学科卒業。同大学院理学研究科修了。博士（理学）。名古屋大学大学院理学研究科と遺伝子実験施設にて研究員の職を経て、2012年11月より現職。

の PSII ではいずれも電子伝達活性に変化が見られ  $Mn_4CaO_5$  クラスターにも変化が及んでいる可能性がある。特に (1) のヨウ素イオン置換体ではヨウ素の還元力により S0 状態が実現している可能性が高い。一方  $Mn_4CaO_5$  クラスターは S1 状態の PSII に光を当てると 1 個の電子を放出して S2 状態となる。PSII の溶液試料について S2 状態を実現する方法は既に確立されているが、X 線構造解析で用いる結晶試料では特殊な事情が起こる。すなわち PSII には可視光をよく吸収するクロロフィルやカロチノイドが多く含まれるため、PSII が高濃度で凝集した結晶はほとんど真っ黒に見える。すなわち可視光が結晶を通過することはほとんどないため、結晶全体にわたり均質な S2 状態を実現することは容易ではない。そこで本研究では、物質の多光子イオン化の研究で数々の成果を上げている上記のハッ橋教授とタッグを組み、PSII が吸収しない赤外線を用いてその 2 光子を同時に利用することで S2 状態を実現する。また分光学を得意とする福島佳優博士 (写真) を特任助教として採用して、均質な S2 状態の結晶を調製して X 線構造解析を成功させる。



## 神谷信夫教授が 2012 年度朝日賞を受賞！



複合先端研究機構の神谷信夫教授が 2012 年度朝日賞を受賞いたしました (共同受賞: 岡山大学の沈建仁教授)。これは、光合成の謎を解く鍵となる「マンガンクラスター」の分子構造を解明した研究成果が評価されたことによるものです。

朝日賞は、1929 年に創設された賞であり、人文や自然科学など、わが国のさまざまな分野において傑出した業績をあげ、文化、社会の発展、向上に多大な貢献をした個人または団体に贈られます。受賞者のなかからは、後年、ノーベル賞や文化勲章を受けられた方も多く出ております。

なお、神谷教授らの研究成果は、2011 年 4 月【電子版】の英科学誌ネイチャーに掲載されており、2011 年末には米国科学誌サイエンスで『2011 年 10 大ブレイクスルー』の 1 つにも選ばれています。

歴史ある賞をいただき非常に光栄に思います。光合成・光化学系 II (PSII) の X 線結晶解析に対する研究経過を振り返ってみますと、大学時代の恩師や PSII の研究を始動させた上司の方々、長期間にわたり研究をサポートして下さったの方々、これまで共同研究に参加してくれた若い人達、現在の職場の同僚や友人・家族など、多くの顔が浮かびます。

自然科学の研究には、一部小さな子どもが好き勝手に遊んでいるような部分もあり、そうした中から新しい発見が生まれることも間々あります。長期的視野で見守っていただく必要があり、そういう意味では、私は長い間に多くの方々のご支援をいただけて、幸運であったと改めて思います。今後は、人工光合成にもつながる PSII 水分解・酸素発生機構の全容解明に向けて、少しでもはやくゴールに到達できるように研究体制を整えていきたいと思っております。

複合先端研究機構 教授 神谷 信夫

## 大阪市立大学 複合先端研究機構

大阪市立大学では、本学の各研究分野における英知を戦略的に融合し、核となるテーマの研究を有機的・発展的に推進していく研究組織として「複合先端研究機構 (OCARINA: The OCU Advanced Research Institute for Natural Science and Technology)」を設立しました。本機構は、「地球規模でのエネルギー、資源、生態系など、環境を含めた全人類に係る複合的および先端的な研究課題に対して、プロジェクト制により研究科横断型で最先端科学・技術を融合して取り組むことにより、学術的・社会的提言並びに人材育成を行い、得られた成果を社会や地域へ効果的に還元すること」、という目的にかなうプロジェクト研究を主体的に行う場です。

平成 24 年度から新プロジェクト「人工光合成による Solar Fuels (太陽光燃料) 生成の実現」がスタートしました。平成 24 年夏に本格的な拠点となる理系新学舎が竣工しました。さらに本機構が中心となる産官学連携施設、「人工光合成研究センター」の整備も着実に進み、平成 25 年度にオープンいたします。これにあわせ平成 25 年度から新しい常勤メンバー 2 名が参入し、より活性の高い研究組織としたいと考えております。

地球規模の課題を一刻も早く解決したいという想いから、一部の施設が先行して活動しましたが、設備全体の整備も着実に進めており、世界をリードする研究を大阪から世界に発信していく基地としての役割を担うに足る研究機構にしていきたいと考えております。



大阪市立大学  
OSAKA CITY UNIVERSITY

### 大阪市立大学 複合先端研究機構

〒 558-8585

大阪市住吉区杉本 3-3-138

電話：06-6605-3619



(発行 2013 年 2 月)