# 神戸大学大学院

# 科学技術イノベーション研究科





研究科長

近藤昭彦

# ここには、イノベーションを起こす人を育てるシステムと最適な環境があります。

「分野融合」で柔軟な思考を、 「文理融合」で企業家精神を養う

世界では、イノベーションにつながるブレークスルーの多 くが、いくつもの研究分野の垣根を超えた融合から生まれ ています。そして、ブレークスルーをイノベーションにつなげるに は、研究成果を社会の中で客観的に位置づけ、事業化の道筋を描く 「企業家精神(アントレプレナーシップ)」を持った人材が求められ ています。ところが、日本の研究者の多くは自分の専門だけに目を 向けがちで、橋渡しできる人材も稀です。これでは、イノベーショ ンにつながりうる研究成果は生まれにくく、たとえ成果を上げたと しても、その可能性に気づかず、埋もれてしまうことでしょう。次世 代の理系人材に求められるのは、既存の研究分野の常識にとらわれ ない柔軟な発想力と、企業家精神です。そんな人材をどうすれば育 てられるのか。ミッション達成のキーワードは「分野融合」と「文 理融合」。それを理想に終わらせず、実現するための議論を重ねた末 に、2016年4月、まったく新しい試みとして、科学技術イノベーショ ン研究科が、まず修士課程(博士課程前期課程)からスタートしました。 バイオプロダクション、先端膜工学、先端IT、先端医療学の各 分野でトップを走る教員たちが揃いました。学生たちは専門分野の 研究に打ち込む一方で、他分野の概論や実習を経て、「分野融合」

の柔軟な発想力を養います。さらに、全分野の学生が週に1度、一 堂に会して学ぶのがアントレプレナーシップ分野です。経営学や法 学、ビジネス界で実績のある実務家の教員が指導する「文理融合」 の学びの場で、事業化に必要な知識を身につけ、自らの研究の事業 化を想定し、強みや課題を考える経験もします。こうした試みは、 他に例がありません。当初は不安もありました。しかし、成長する 学生たちの姿が、この試みの正しさを教えてくれました。また、学 生たちばかりではなく、私たち教員もこの稀有な場に刺激を受け、 大学発ベンチャーが次々と生まれています。

そんな経験を糧に、2018年度からは博士課程後期課程もスタート しました。前期から進学した学生ばかりではなく、研究成果を生か した新事業の立ち上げを目指す社会人、そして、新しいことに挑戦 しようとする意欲的な教員が集い、研究に打ち込むととともに、互 いに刺激し合っています。ぜひ、ページをめくって、各研究室の教 授たちの言葉から、この、まったく新しい学びと研究の場の空気を 感じてください。「ここには、イノベーションを起こす人を育てる システムと最適な環境がある」――私たちだけでなくみなさんも、 そう確信していただけると思います。



西田敬二教授(前列右)と石井純准教授(後列)は 合成生物学が専門で下図の「Build」を担う。 内田和久特命教授(前列左)は李特命教授らと ともにバイオ医薬品の生産プロセスを開発。

スマートセルインダストリーを実現し、 究極のエコ社会を創造する

スマートセル創出の 研究開発プロセス

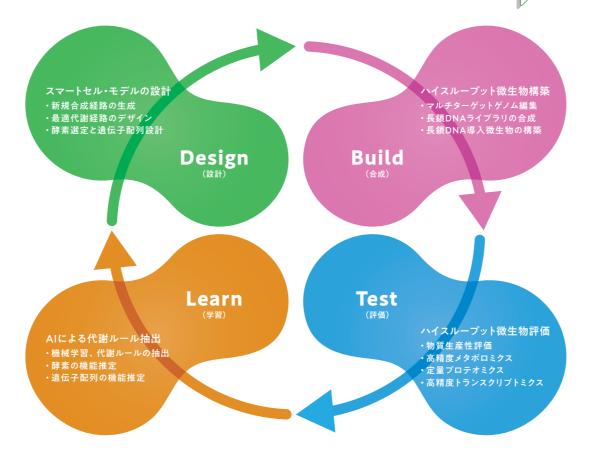
# 目的の物質を産出する微生物を 遺伝子改変によりつくりだす

地球温暖化が進み、石油などの化石燃料か ら再生可能資源への転換が求められる中、注 目されているのが「バイオプロダクション」 だ。バイオ生産工学研究室の近藤昭彦教授は 早くからその可能性に着目し、研究を続けて きた。

近藤 酒や味噌、ヨーグルトなど、人類は昔 から、微生物が産出したものを利用してきま した。これを発展させて、生活に必要なあら ゆるものを生物のはたらきから産み出す研究 がバイオプロダクションです。微生物の代謝 などのはたらきを用いて、植物の細胞や空気 中の窒素や二酸化炭素などから、燃料やプラ スチック、繊維、医薬品などを生産できれ ば、石油のいらない、究極のエコ社会が実現 できます。とはいえ、ほしいものを微生物が 都合よく生み出してはくれません。そこで、 これまでは地球上のありとあらゆる場所を探 し回り、いろいろな機能を持った微生物を見 つけ出してきました。しかし、これではお目 当ての微生物がいつ見つかるかわからず、膨 大な時間がかかります。そんな状況をガラリ と変えたのが、バイオテクノロジーの進歩で す。生物の遺伝情報が解き明かされ、遺伝子 の役割が明らかになり、遺伝子組換えの技術 も発達しました。そうした知見を用いれば、 研究室の中で、微生物などの遺伝子を改変し て、効率的に目的の物質を産出させられま す。じつは、世界中の研究者がそこに着目 し、激しい競争がすでに始まっています。私 たちはそんな競争の最先端でバイオ燃料やバ イオ医薬品などの研究に取り組んでおり、産 業化推進のためにさらなるスピードアップを 目指しています。

# 次世代産業「スマートセル インダストリー」の実現に向けて

「スマートセル」とは、高度に機能がデザ インされ、機能の発現が制御された生物細胞 のこと。バイオ生産の実用化をスピードアッ



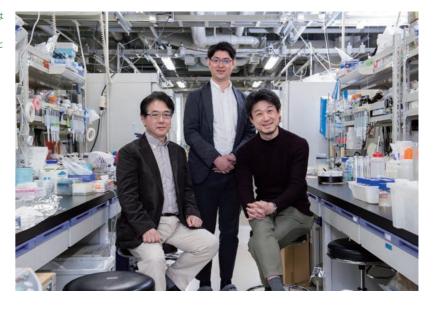
プして世界と戦うため、バイオとデジタルの 融合による「スマートセル創出プラットフォ ーム」の開発が進められている。開発リーダ -の蓮沼誠久教授は、従来法より格段に向上 したと語る。

蓮沼 私は当初、生体内に存在するすべての 代謝産物を網羅的に解析する「メタボローム 解析」という技術を頼りに、微生物の代謝産



産プロセスの開発の実験に取り組む李仁義特命教授。

物や代謝経路を調べ、新しい物質の開発に取 り組んでいました。膨大なデータをながめて 考え、ひらめいたやり方で遺伝子を改変して 新しい代謝経路を構築し、目的の物質を合成 しようとしていたのです。しかし、時間もか かるし、思いついたアイデアをすべて試せる わけでもなく、なかなか成功にたどりつけま せん。コンピュータに学習させて代謝経路や 遺伝子配列を設計すれば、従来よりはるかに 合理的に、効率よく進められるのではないか と考えました。とは言え、私は計算科学の専 門家ではありません。また、機械学習を行う には、多様性に富む膨大なデータを供給する 必要があり、組換え微生物を創出する分子生 物学の専門家も必要です。こうしてさまざま な専門家が集ってできたのが、「Design(設 計)→Build(合成)→Test(評価)→Learn(学習) の4つからなる「スマートセル創出プラットフォ ーム」の研究開発プロセスです。「Learn(学



習)」がなかった従来の方法に比べ、格段に スピードアップしたと考えています。

# 異分野の研究者が忌憚なく言い合い 互いのカルチャーを尊重する雰囲気

「分野融合」「文理融合」というこの研究科 の特徴は、スマートセルインダストリー推進 の原動力だと近藤教授は語る。

近藤 スマートセルインダストリーには、先 端的なゲノム編集・合成技術、分析測定技 術、計算科学技術など、さまざまな分野の融 合が欠かせません。世界では、そうした異分 野の研究者たちが一つのチームをつくり、巨 額の予算をかけて研究に取り組んでいます。 日本ではそうした場ができにくいからこそ、 この研究科の分野融合の環境は貴重だと感じ ています。また、開発した新しい技術を産業 化するには、大企業よりもリスクを取りやす いベンチャー企業の方が適していますが、日 本にはそんな土壌が乏しい。さらに、たとえ いい技術があったとしても、研究者が考える 出口は限定的で、社会のニーズとのギャップ がある場合があります。しかし、この研究科 には、事業として起こす戦略的なアプローチ を一緒になって考えてくれる先生方がいる。 これは、頼もしいことです。すでに要素技術 のベンチャーを3つ立ち上げましたが、今後 も要素技術を統合するプラットフォーム的べ ンチャーを含め、続々と立ち上げを構想して います。研究分野が違うと、互いの立場を譲 らず、意見が衝突することもあります。しか し、この研究科には、遠慮なく意見をぶつけ 合いながら、互いのカルチャーを尊重する雰 囲気がある。それが、ほかのどこにもない、 この研究科の大きな強みだと感じています。

# 蓮沼 誠久 教授

HASUNUMA Tomohisa

埼玉県出身。2004年大阪大学 大学院工学研究科応用生物工学 専攻修了。博士(工学)。地球環 境産業技術研究機構研究員など を経て2016年より現職。生物 と化学の境界領域に興味を持ち、 大学では発酵工学を学ぶ。



近藤 昭彦 教授

KONDO Akihiko

長野県出身。1988年京都大学

大学院工学研究科化学工学専攻

満期退学。博士(工学)。九州工

業大学助教授などを経て2016

年より現職。学部時代はプログ

ラミング、大学院でバイオの世

04 | 神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科



# 微生物ゲノムの調和を解明し、 有用希少物質の生産を実現する

## ゲノム機能を改変することで さまざまなイノシトールを生産できる

枯草菌は落ち葉や堆肥などに存在する身近 な細菌で、納豆菌もその一種として知られる。 吉田健一教授は、そんな枯草菌を改変して有 用希少イノシトールを生産する研究を進めて いる。

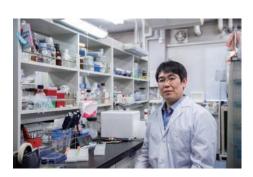
吉田 枯草菌は身近なだけでなく、高温や乾 燥に耐える胞子を形成するなど、基礎生物学 でも注目される細菌です。私は、大学院生の 頃からそんな枯草菌に興味を持ちました。枯 草菌ゲノムを解読する日欧共同プロジェクト

生物が生きている理由とゲノム機能の調和の 関わりを研究しています。例えば、微生物に 新しい物質を産み出させようと人工的に代謝 経路を設計しても、実際にはうまくはたらか ないことがあります。生物は、生きている理 由に反することはしないからです。すべての 楽器が調和してこそオーケストラが美しい音 楽を奏でるように、生物はゲノム機能の調和 を保ちながら生きているのです。私はそんな 目で生物を見ながら、有用希少物質の産出と いうゴールを目指し、近藤教授らと連携しな がら研究を進めています。

# Bacillus subtilis (枯草菌)

遺伝子改変が容易で、高温でも死滅しない胞子を つくり、酵素を旺盛に分泌する。その特性をバイ オプロダクションに生かす研究が進められている。

私たちの研究室では、大豆の根につく根粒 菌や発酵食品をつくる乳酸菌も研究していま すが、研究の原動力は、"ゲノム機能の調 和"を理解したいという思いです。しかし、 それだけでは、社会に役立つ種 (シーズ) を 見逃してしまうかもしれません。この研究科 の学生は、専門の研究に注力しながら、他分 野の研究にも触れ、さらに、「研究が社会に どう役立つか?」を問われ続けます。そんな 環境で鍛えられることで、一つの事象をさま ざまな目から見る態度が養われ、研究を社会 につなげる意欲をもった人材に育ってくれる と期待しています。



石川周准教授。細胞分裂や転写などの分子メカニズムを 研究し、高効率バイオプロセス細胞の創製を目指す。

# 吉田 健一 教授

YOSHIDA Ken-ichi

京都府出身。1993年京都大学 大学院農学研究科農芸化学専攻 修了。博士(農学)。フランスIN RAポスドクなどを経て、2016 年より現職。微牛物のゲノム構 造と機能の解析に取り組む。音 楽や語学にも造詣が深い。



に参加し、1996年にはすべての遺伝子を明ら かにしましたが、半分くらいの機能は未知で した。そこで機能未知遺伝子のはたらきを解 き明かそうと、研究を進めるうちに、枯草菌 が炭素源として効率的に代謝するイノシトー ルに着目しました。イノシトールには9種類 の異性体が存在し、その中には、血糖降下作 用を持つものや、アルツハイマー治療薬とし て期待される有用希少なものがあります。そ こで、枯草菌のゲノム機能を改変して、有用 希少イノシトールを効率的に生産できるので はないかと考えたのです。

# 生物は、生きている理由に 反することはしない

有用希少イノシトール生産の実現に向けて 大きな力となっているのが、同じバイオプロ ダクション分野の近藤昭彦教授らとの連携だ。 そこでは互いの強みを生かして研究が進めら れている。

吉田 近藤教授の研究室では、細胞内の化合 物の精緻な分析測定を通じて、細胞レベルで 遺伝子のはたらきを調べています。一方、私 たちは、生物レベルの遺伝子の意義、つまり

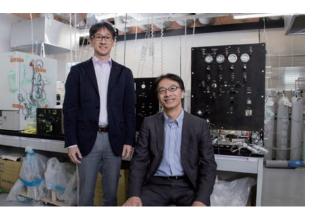


# 環境・エネルギー問題解決に貢献する 「膜分離法」の応用・実用化を目指す………… 関分離プロセス研究室

# 膜を使えば必要最小限の エネルギーでの分離が可能に

水素燃料精製、二酸化炭素除去、造水、下水 処理など、近年、地球環境の視点から、目的物 質の「分離法」が注目されている。中でも期待が 高いのが、吉岡朋久教授の専門の「膜分離」だ。

吉岡 物を運ぶには気体より液体や固体の方 が便利です。しかし、次世代エネルギーと期 待される水素は-253℃まで温度を下げない と液体にならず、液体の化合物として運ぶ方 法が検討されています。運んだ後で水素を使 うためには、化合物から「分離」する技術の



中川敬三准教授(左)は反応させながら分離を行う無機膜などを 研究。新谷卓司特命教授(右)は企業で長年、有機膜の研究開発 にあたった経験の持ち主。

開発が必須です。そのための分離法はいくつ もありますが、中でも「膜分離」が優れている のは、省エネでコンパクトなこと。膜分離なら、 水素ステーションなどで必要最小限のエネルギ ーで水素だけ分離できるのです。そのほか、 排気ガス中の二酸化炭素を取り出して人工光 合成の材料にするなど、膜分離は地球環境問 題の解決の手段として期待されています。

膜は材料によって大きく有機膜と無機膜に 分かれます。私の専門は、無機膜における分 子透過機構の解明です。ある膜を物質が透過 するかしないかは、分子の大きさだけではな く、物質同士の相互作用や膜との親和性など が複雑に関係してきます。例えば親和性が高 い大きな分子が穴をふさいでしまい、より小 さな分子が透過できなくなるケースもありま す。温度や圧力によって気体から液体へ状態 が変化すれば、同じ物質が膜を透過したり難 しくなったりもします。そうした条件をコンピ ユータでシミュレーションし、透過のしくみ と膜の構造の関係を解き明かしているのです。

# 多彩な人材が揃う環境が実用化を促進 「分けるために混ざろう!」

先端膜工学分野には、有機膜、無機膜、理論、

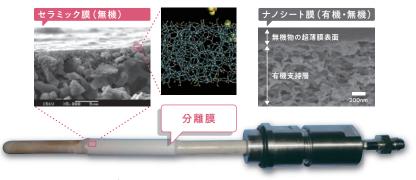
実験、企業出身、外国出身など、専門も背景も 年齢も国籍も異なる多様な人材が揃っている。 それが大きな強みになると吉岡教授は指摘する。 吉岡 私のような理論の研究者は、基礎的な 研究にのみ興味が向いてしまいがちですが、 この環境なら常に実用化を意識して研究を進 められます。膜の開発は、材料開発だけでは ダメなんです。モジュール化し、高速かつ安 定して分離できなければ実用化できません。 実は、膜分離の技術ですでに実用化している のは、有機膜の水処理くらいしかありません。 無機膜は、堅くて加工しづらく、作る過程が 難しいためコストがかかり、一部の例外を除い て実用化に至っていません。しかし、分子シミュ レーションで設計し、それをもとにつくる、そ ういったアプローチにより実用化は加速される かもしれません。膜分離に興味を持っている学 生や企業のみなさん、ぜひ一緒にそんな未来を 作りませんか。「分けるために混ざろう!」-それがこの研究室のキャッチフレーズです。



吉岡 朋久 教授

YOSHIOKA Tomohisa

広島県出身。1997年京都大学 大学院工学研究科化学工学専攻 修了。博士(工学)。広島大学大 学院丁学研究院准教授などを経 て、2016年より現職。シミュ レーションだけでなく、時には 自ら体を動かして実験を行う。



管状の物質の表面に厚さわずか数百ナノメートルの薄膜がコーティングされている。膜の外側から 液体やガスを供給すると、薄膜を透過する分子だけが管の内側に出てくる。有機物と無機物がハイ ブリッドした新たな超薄膜の開発も行っている。



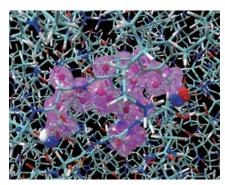
### 天能 精一郎 教授

TEN-NO Seiichiro

広島県出身。1994年京都大学 大学院理学研究科化学専攻修了。 博士(理学)。名古屋大学准教授 などを経て、2016年より現職。 学部時代は触媒 (実験)、大学 院で理論の研究室に移り、その 面白さにのめり込む。

#### マルチスケールモデル

量子力学と分子力学を折衷した マルチスケールモデルは、酵素 や溶媒の存在下での化学反応を 取り扱うのに強力な方法。図は 連結原子を含まない一般化混成 軌道法によるプロテインキナー



# 人工光合成の非常に複雑な 化学反応もシミュレーション

化学現象の中には、実験では確かめられな いものが少なくない。天能精一郎教授は、そ の壁を理論と計算で越え、あらゆる化学現象 を正確に予言することを目指している。

天能 物事の本質を知りたいと思うと、現象 が複雑であればあるほど、実験的に調べるこ とには限界があります。そこで、私たちは計 算機を使って理論的に物質の本質に迫る研究 を行っています。

分子構造の数理モデルを構築する基礎方程 式は、20世紀初頭には確立していましたが、 非常に複雑な計算が必要で、従来の計算機で はなかなか解けませんでした。しかし近年、

「京」のようなスーパーコンピュータの開発 が状況を大きく変えました。京なら、これま で50年かかっていた計算を数時間で、しかも、 かなりの精度で解けるのです。例えば、植物

> が行う光合成では、非常に複雑な 化学反応が連続して起きていて、 実験を通して理解することは困難 です。そこで私たちは、膨大な電 子配置がからみ合う物質の構造と 励起状態を定量的に取り扱う手法 を確立し、光合成シミュレータの 開発に取り組んでいます。その他、 理論的には可能でも実際には合成 できない半導体を計算でつくって

仮想的な実験を行い、安全性まで予言させて、 得られたデータをもとに機械学習をさせて改 良するといった試みも進んでいます。

# 初の国産「量子化学プログラム」の 商用化も視野に

天能教授が京のソフトウェアとして開発し た量子化学プログラム「GELLAN」。それ を商用ソフトとして一般に使用してもらうた めのベンチャーの設立も視野に入れている。

天能 論文で発表された理論や計算手法は、 引用さえすればだれでも使用でき、特許申請 とは無縁です。実際、私が発表した計算手法 も、海外の研究機関が開発した量子化学のプ ログラムで使われています。しかし、理論が プログラムに採用されて普及するというのは、 世界でいくつか商用化の例が見られるものの、 そう簡単なことではありません。だとしたら、 ソフトウェアとして商用化することで、より 多くの研究機関や企業で使ってもらえるとい うわけです。現在のソフトウェアのままでは 無理ですし、マニュアルの整備なども必要で すが、開発した計算手法をより多くの人たち に使ってもらうことは、社会の役に立ち、学 問の進歩にもつながるのではないでしょうか。 この研究科には、ベンチャー設立に詳しい先 生もいるので、その環境は整っています。実 現すれば国産のソフトとしては初の商用化、 挑戦したいと思います。



## 強固なソフトでも対策できない "ノイズ"による情報漏洩を防ぐ

永田真教授は長年にわたり、電子産業の企 業と連携しながら、半導体の回路設計上のさ まざまな課題を解決する新技術の開発に取り 組んできた。大きなテーマが"ノイズ"だ。

永田 半導体の回路には、無線などのアナロ グ部分とプロセッサーなどのデジタル部分が 混在し、そこには必ずノイズ(電子機器が出 す不要な電磁波など) が発生します。ノイズ は、性能低下などのセーフティの問題と、情 報漏洩というセキュリティの問題の原因にな ります。電子機器の情報漏洩のセキュリティ というと、対策ソフトを思い浮かべる方が多 いでしょう。実際に、スーパーコンピュータ が100年かかっても解けないような暗号ソフ トが開発されてもいます。しかし、それだけ では万全とはいえません。いくら数学的に強 固な対策ソフトを導入しても、物理的にノイ ズが漏れ出てしまえば、その情報を解析し て、内部の様子を簡単にのぞき見ることがで きるのです。そこで、私たちはノイズをでき るだけ抑えるしくみや、ノイズが発生しても 情報を読み取れないようにするしくみなど を、材料的アプローチとアーキテクチャ(電 子素子の構成)の両面から取り組んでいま す。私たちの研究は、今後ますます高度化す る情報化社会において、その基盤を支える重 要技術であると自負しています。

# 「材料からITへ」 ボトムアップでイノベーションを

日本の電子産業はかつて半導体製造で世界 を席巻していたが、今は中国や台湾にその座 を奪われ、回復は難しい。しかし、視点や発 想を変えれば、日本発のイノベーションも十 分に可能だと永田教授は指摘する。

永田 目指すのは、「材料からITの性能を 持ち上げる」ことです。日本の材料技術は、 今でも世界のトップにいます。ただし、その 材料を使った展開となると、残念ながら、海 外のIT企業のオーダーを受けた材料の供給 にとどまっています。しかし、回路設計や情 報通信など、材料とITをつなぐ分野の知恵 を絞れば、ボトムアップでイノベーションを 創出できます。私の研究室には、化学材料メ ーカーの社員が、自社の新材料の実用化の道 を探るために後期課程の学生として入学して きました。彼は回路設計の専門知識はありま

せん。そんな学生が入学するなど、 多様なこの研究科ならではでしょ う。しかし、実用化への道筋も含 めて評価するこの研究科は、そん な学生も歓迎しますし、研究室に とっても研究の幅を広げてくれる 人材となるでしょう。多様な人材 が混ざり合うことで、何が生まれ るのか。新しいチャレンジに、今、 私自身がわくわくしています。

# 永田 真 教授

NAGATA Makoto

東京都出身。1994年広島大学 大学院工学研究科材料工学専攻 退学。博士(工学)。広島大学工 学部助手などを経て2016年よ り現職。オシロスコープ (電気 信号の変化を波形で示す装置) をこよなく愛す。昔から"測る" ことが好き。

ノイズを通して情報をのぞき見 ようとするセンサの接近を察知 するシステムを、オシロスコー





### 太田能教授

#### OHTA Chikara

大阪府出身。1995年大阪大学 大学院工学研究科通信工学専攻 修了。博士(工学)。德島大学工 学部准教授などを経て、2016 年より現職。"進歩の後に進化 あり"がモットー。

#### 車車間通信

自動運転には、遠方・死角の歩 行者の検出精度が低いという課 題がある。車載カメラの映像情 報を車車間の通信網によって共 有することでこの課題を解決す る研究を進めている。



# 人と人をつなぐ時代から 人とモノ、モノとモノをつなぐ時代に

中高時代の塾の先生から聞いた「光通信の 父! 西澤潤一氏の話をきっかけに通信に興味 を持った太田能教授は、大阪大学工学部通信 工学科に進学。以来、通信網の構築など、さま ざまな情報通信技術の研究に取り組んできた。 太田 私が研究を始めた頃は、まだ携帯電話 もスマホも普及していなかった時代です。情 報通信網も今と比べてまったく整備されてい ません。そんな中、通信品質を満たしながら 多くのユーザーを通信網に収容する技術、有 線網での動画像伝送方式、地域の通信インフ ラ構築、通信網の防災への活用など、さまざ まな課題に取り組んできました。今や、ほと んどの人が当たり前のようにスマホなどの情 報通信端末を持ち、IoT (Internet of Thing) という言葉が注目されているように、情報通 信の果たす役割は人と人から人とモノ、モノ とモノをつなぐように拡大しています。私た ちの研究も、それに合わせた柔軟な発想が求 められています。自動車同士を結ぶ車車間通 信網を整備して活用すれば、トンネル事故の

> ような状況をいち早く伝えたり、 歩行者の情報を伝えて自動運転 の安全性の向上につなげたりで きます。また、畜産業を担う人 たちの高齢化が問題となる中、 牛に情報端末をつけ、家にいな

がら飼育状況を知る研究なども進めています。 そんなふうに環境は大きく変わっても、情 報通信という学問のおもしろさは変わりませ ん。限られた条件の中、どんな技術を使い、 どんなふうにつなげれば快適な通信網を構築 できるのか。人知れず役に立つという縁の下 の力持ちであるところが、情報通信技術とい う学問の醍醐味だと思います。

### 「人間らしく、快適に」つながる技術を

これまでの通信技術は、通信速度を上げ、 つながりやすさを第一に目指してきた。しか し、太田教授にはある信念があった。

太田 これからのIoT時代は、電気や水道と 同じように情報通信が当たり前の時代になり ます。一部の人や場所だけがその恩恵を享受 するのではなく、すべての人がどこにいても 快適につながる、そんな技術を目指していま す。一方で、24時間いつでもどこでもつなが るというのは、便利である反面、私たちはあ ふれんばかりの情報の海で溺れそうになって いるようにも見えます。人間らしさを保ちな がら快適なペースで情報が入ってくる、その ための通信技術とは?、そんなことも意識し て研究を進めています。研究室の理念を形象 化すると、それは灯台です。暗い夜でも遠く まで照らす船舶の航行の目印のように、情報 通信分野の指針となるアイデアを提示するよ うな研究を行いたいと思っています。



# 絆創膏のような血圧測定シートや 光や振動で半永久的に動く IoTシステムを開発

LSI (大規模集積回路) はスマホやパソコ ンに限らず、家電や自動車などにも搭載され、 あらゆるものをインターネットでつなぐ「IoT 社会」の実現のカギを握っている。そこで注 目されるのが、川口博教授の低消費電力の LSI設計の研究だ。

川口 極小のチップにたくさんの電子回路が 載ったLSI。私たちは、そんなLSIをあらゆ る角度から見つめ、どんな回路をどうつない だら低い電力で動かせ、目的を達成できるか、 知恵を絞っています。例えば血圧を測るには、 心臓が血液を送るリズムに合わせて動けばい い。そこで、血液の流れを検知するセンサを 組み込み、こまめに電源を切って消費電力を 抑えるしくみを考えて、体に貼るだけで測れ る、絆創膏のような血圧測定シートを開発し ています。太陽光や室内光、熱、振動などを エネルギーに変えれば、バッテリを交換せず、 半永久的に動くシステムの実現も夢ではあり ません。こうした方法はどれも、製造コスト がかかります。しかし、IoT社会が現実のも のになりつつある今は、製造コストがかかっ たとしても、「バッテリを長持ちさせたい」 「できるだけ小さく、軽くしたい」というニ ーズを満たす必要があります。そして結果的 に、社会実装への近道となります。

# 自動運転の実用化や ディープランニングの高速化も

低消費電力の技術は、深層学習(ディープラ ーニング)や自動運転など膨大なデータの処理 を必要とする分野への応用も期待されている。 川口 コンピュータに人間ではできないよう な膨大なデータの計算をさせる深層学習は、 さまざまな産業分野での活用が始まっていま す。何万台ものコンピュータを動かし、電力 を惜しみなく使って行うもので、低電力消費 とは無縁のように思えますが、実は、ここに も私たちの技術の出番があります。計算が複 雑になるにつれて処理の時間は増え、何ヶ月 もかかることもあります。そこで私たちは、 低消費電力LSIの技術を使いながら高速化を 図る研究に取り組んでいるのです。また、自 動運転車は、危険を察知するために、膨大な 画像データを瞬時に処理することが欠かせま せん。消費電力もドライブレコーダーとはケ タ違いです。実験段階の今は、そこに目をつ ぶり、盛大に電力を消費しながら研究が進め られています。それでは実用化など夢のまた 夢です。そこで、私たちは、低消費電力LSI の技術でこの課題を解決しようとしています。 IoT社会もディープラーニングも自動運転も 未来を大きく変え、イノベーションを起こす と期待されています。私たちの低消費電力 LSIは、そこに大きく貢献する可能性を秘め た技術なのです。

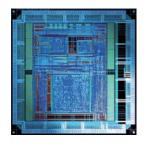
### 川口博教授

#### KAWAGUCHI Hiroshi

兵庫県出身。1993年千葉大学 大学院工学研究科電子工学専攻 修士課程修了。2006年東京大 学、博士(工学)。ゲーム会社勤 務後、東京大学産業技術研究所 助手などを経て2016年より現 職。学生時代のソフトウェア研 究が、今のハードウェア研究に 牛きている。

LSI

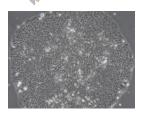
トランジスタやコンデンサ、抵 抗などの素子を1つのチップに 搭載した集積回路 (IC) の中でも、 特に集積度を高めたものの総称。 1つのチップに数億個以上の素 子が収められている。写真は実 時間画像処理プロセッサ。





# ヒトiPS細胞研究技術や人工がん幹細胞作製技術を 駆使し、がん治療への貢献を目指す…………… [IPS細胞応用医学研究室]

#### iPS細胞



人工多能性幹細胞。皮膚などの 体細胞に少数の因子を導入し、 特定の条件で培養することで得 られる。無限に増殖できるとと もに、体をつくるあらゆる細胞 に変化することができる。

# 青井 貴之 教授

AOI Takashi

兵庫県出身。1998年神戸大学 医学部卒業。博士(医学)。7年 間の臨床医経験後、京都大学再 生医科学研究所にてiPS細胞に 関する研究を開始。京都大学 iPS細胞研究所教授などを経て 2016年より現職。高校・大学 ではラグビー部。



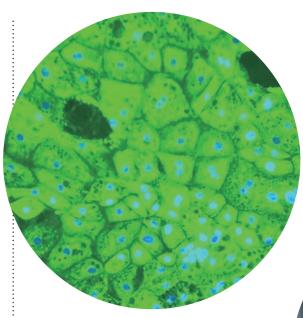
# がん細胞にもiPS細胞と同じく 分化の坂道を逆行する細胞がある

青井貴之教授が消化器内科の臨床医として 7年間の経験を経て進んだのが京都大学再生 医科学研究所の山中伸弥研究室。世界初のヒ トiPS細胞作製で世界を驚かせる前夜のこと だった。

青井 臨床医として経験を重ねる中で、新し い治療法を開発する基礎医学の大切さを改め て感じ、研究の世界に触れたいとの思いか ら、大学院への進学を決めました。山中研究 室を選んだのは、iPS細胞に興味を持ったか らではなくラグビーの縁からだったのです が、文字通り世界最先端の基礎研究の場で、 iPS細胞の作製、組織細胞への分化などさま ざまな実験のほか、安全性などの評価や規制 の仕事も行い、貴重な経験を積めました。

今はその経験を生かして、がん細胞の研究 にも取り組んでいます。iPS細胞は、分化し て各部の組織になった細胞が、分化の坂道を 逆行して再び未分化の状態になることに大き な特徴があります。大腸がんの細胞にも、一 度は分化した大腸がんの性質を持った細胞が、 坂道を逆行して未分化な大腸がんの状態にな ったと考えられるものがあるのです。そこで、 これまで培ったiPS細胞の作製、培養、分化 誘導などの技術や知見を生かして、人工がん 幹細胞を使ったがんの治療法や新薬の開発に も取り組んでいます。がん幹細胞とは、がん 細胞の親玉とも言われていて、細胞周期が遅 く、薬剤排出能力が高いため、通常のがん細 胞とは違って抗がん剤が効かないのです。一 度は治ったと思ったのに再発や転移が起きる のは、がん幹細胞に原因があると言われてい ます。私は、このがん幹細胞に似た性質を持 つ細胞を人工的に作製することに初めて成功 しました。がん幹細胞はがん組織中にわずか しか存在せず、採取が困難ですので、この人

工がん幹細胞を使うことで効率的にが ん研究を進めることができます。



iPS細胞をさまざまな組織や臓器の細胞に分化誘導する 研究も進んでいる。写真は、肝細胞。

## 異分野がフラットに交流する雰囲気が 研究者としての成長の糧に

この研究科では、異分野のコラボレーショ ンがすでに始まっている。

青井 バイオ生産工学研究室の蓮沼誠久教授 やアントレプレナーシップ分野の山本一彦教 授らと一緒に進めているプロジェクトがあり ます。異分野の先生方との交流はとても刺激 的で、新たな視点を持つことができます。特 に、私は事業化に関する知識がなかったの で、山本教授との交流は新鮮でした。

ラグビーは、1人のスター選手だけが輝く のではなく、15人がそれぞれの役割を果たす スポーツです。私は研究室のメンバーも、自 分の仕事の手伝いではなく、自分ではできな いことをやってくれる仲間だと思っていま す。この研究科全体にも、それと同じくフラ ットな雰囲気があって、とても心地よく、40 歳を過ぎてなお新しいことを学べています。 学生たちも、ここでは自分の研究に打ち込む だけでなく、いろんなことを学んで、自分自 身を高めてほしいものです。



# 

バイオロジクス探索研究室

# 機能性食品として市販されている ビフィズス菌カプセルがヒントに

飲むだけでがんが治る――白川利朗教授はそんな夢のような薬の開発に取り組んでいる。鍵になるのは、ヨーグルトなどに含まれ、私たちにも身近なビフィズス菌だ。

**白川** 私は、遺伝子改変の技術などをもとに、細胞や細菌、ウイルスなどの生物の持つ機能を利用したバイオロジクス(生物製剤)



研究室でパイロット生産した経口がんワクチン原薬 (遺伝子組換えビフィズス菌凍結乾燥粉末)。

の研究開発に取り組んでいます。バイオロジクスは、分子生物学の急激な進歩に伴い、さまざまな疾病に対する多くの治療薬が実用化されており、がん免疫療法薬も開発され、大きな効果を上げています。しかし、飲むだけで効く経口のがん免疫療法薬はまだ開発されていません。がん免疫を誘導する抗原をつくって経口投与したとしても、それを腸管の免疫組織に吸収するしくみがないため、効果が期待できないのです。しかし、食品会社から機能性健康食品としてビフィズス菌のカプセ

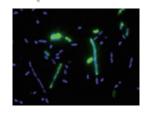
ルが市販されていると知ったとき、私の頭にあるアイデアが浮かびました。ビフィズス菌が腸から免疫組織に吸収される特性を生かして、ビフィズス菌にがん抗原を付けて運び屋として体内に入れ、免疫システムのスイッチを入れるのです。いわゆる "経口がんワクチン"です。そのアイデアを形にするため、食品会社と提携し、研究開発を進めています。

# ベンチャー企業を立ち上げた 若き日の経験を学生にも伝えたい

科学技術イノベーション研究科設立の話を 聞いたとき、白川教授の脳裏には、若き日の 忘れがたい経験が鮮やかによみがえった。

白川 私は29歳のとき、米国ヴァージニア大 学に留学し、まだ黎明期だった遺伝子治療の 世界最先端の研究に触れました。遺伝子を改 変すれば、小さな研究室の中でも革新的な薬 を開発できる。それは、薬の開発は大きな設 備でなければできないと思い込んでいた私に とって、大きな衝撃でした。研究に携わりな がら、この薬が、がんで悩むたくさんの患者 さんの命を救えるかもしれないと思いまし た。ところが、当時の日本には治験薬をつく る施設がなく、米国の企業に委託するしかあ りません。それなら、自分たちでつくればい いと思い立ち、当時の日本としては画期的な CPC (Cell Processing Center:細胞を培 養して遺伝子治療薬等を製造する施設)のべ ンチャーを立ち上げました。ところが、肝心 の受注が1件だけ。遺伝子治療が進んだ現在 では、CPCの需要も高まっていますが、当 時はまだ時代が早すぎたのです。残念ながら せっかくのCPCも企業に売却せざるを得ま せんでした。そんな経験をしたからこそ、学 生たちが企業家精神を学べるこの研究科の試 みには大きな意味があると思います。自分の 経験も伝えつつ、自分自身も研究者として、 学生と一緒に新しい治療薬や治療法を開発し ていきたいと、意欲を新たにしています。

#### 遺伝子組換え ビフィズス菌 (ワクチン)



ビフィズス菌は、おもに大腸ではたらき、有機酸をつくり出して腸内環境を整える。写真は青がビフィズス菌、緑が発現させた抗原タンパク質を示す。

#### 白川 利朗 教授

#### SHIRAKAWA Toshiro

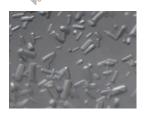
兵庫県出身。1992年神戸大学医学部卒業。博士 (医学)。泌尿器科医師、米国ヴァージニア大学泌尿器科研究員、神戸大学大学院医学研究科准教授・保健学研究科教授などを経て、2016年より現職。研究のかたわら週2回、外来診療も担当。"bench to bed" (実験室から患者さんへ) がモットー。





# 分子の"ポケット"に結合してがんを防ぐ 革新的ながんの分子標的薬を開発

#### Rasの結晶



がん発生の原因タンパク質Ras の一種M-Rasが、ポケットのよ うな穴が開いた特徴的な構造を していることを発見。さらに、 そのポケットが開いたり閉じた りすることを突き止めた。

# 島扶美教授

SHIMA Fumi

兵庫県出身。1991年神戸大学医 学部卒業。博士(医学)。神戸大 学大学院医学研究科准教授など を経て、2016年より現職。医 学の道を志したのは5歳の時、 祖父のがん死がきっかけ。消化 器内科医として勤務するも、治 すことよりなぜそうなるのかが 気になり研究の道に。



# ポケットが開いた画期的な構造を 発見したものの……

島扶美教授が、がん発生にかかわるタンパ ク質RasのX線結晶解析を始めたのは、神戸 大学大学院医学研究科の助手だった2000年の こと。X線結晶解析は門外漢だったが、指導 教官の片岡徹教授の鶴の一声だった。

島 関連本を注文して取り寄せ、一からやり 方を学んで試したのですが、なかなか結晶が できません。「私の腕が悪いのか? 材料が 悪いのか?」と思い、M-RasというRasの一 種に変えて試したところ、すぐに結晶ができ ました。ところが、解析に適した条件を満た す結晶はなかなかできません。1年半かけて ようやく成功し、SPring-8で解析してもらっ たところ、驚きました。ポケットのような穴 が開いた構造をしていたのです。Rasにはそ んなポケットはないと考えられていたから、 大発見です。ところが、SPring-8の担当者か らは、「結晶が壊れてると思います」と言わ れました。聞いたことのない構造ですから、 そう思うのも無理ありません。それでも論文 を書いたものの、片岡教授には、穴が開いて る理由がわからないと却下されました。

#### 「開いたり閉じたりしているんだ!」

壁にぶつかり悩んでいた時、一緒に研究し ていた学生が捨てようとしていた論文のタイ トルが、たまたま目に留まった。

島 「Dynamic properties of Ras」 (Rasの動 的な性質)と書いてあったのです。その瞬間、 震えがきました。「Rasはダイナミックに動 いてる! ポケットは開いたり閉じたりして いるんだ!」と。確かめるにはNMR(核磁 気共鳴) 法が必要です。たまたま子供の保育 園のママ友の旦那さんがNMRの研究者で調 べてもらったところ、やはりポケットは開い たり閉じたりしていました。ある標的タンパ ク質がRasに結合すると、細胞を増やす信号 伝達のスイッチがONのままになり、がん細

# Rasのポケットに結合する物質の がん化抑制メカニズム



ポケットに合う化合物を結合させることで、標的タンパ ク質の結合を阻害し、細胞がん化信号の伝達を遮断する。

胞が増え続けます。標的タンパク質がRasに 結合するのは、ポケットが閉じた状態の時だ け。ポケットに合う化合物を見つけてふたを すれば、ポケットは開いたままで標的タンパ ク質は結合できず、がんを防げます。コンピ ユータシミュレーションで候補化合物を割り 出して試し、3つを特定。「Kobeファミリ - 化合物」と名付けました。現在は、この成 果を元に森特命教授と共同で、「Raf」とい う別のタンパク質の阻害剤の研究を進めてい ます。振り返るといくつものピンチを迎え、 「ピンチはチャンス」と思って乗り越えてき ました。実験に失敗はつきもの。しかし、そ こに未知の真実が隠れているかもしれません。 私は学生が失敗した時「なぜ失敗したと思 う?」と聞きます。失敗の原因を見極める目 こそ、発見する力になるのですから。



森一郎特命教授は製薬会社などでの経験を活かし、新た な分子標的薬のデザインなどに取り組んでいる。

# ブレークスルーをイノベーションにつなぐ人材を 週1のアントレプレナーシップ講座で育てる

# 理系の学生にいきなり剛速球は無理 緩い球から入って文系大学院レベルに

この研究科ではすべての学生が文系分野で あるアントレプレナーシップ(企業家精神)の科 目を履修する。指導陣の中心が、経営学が専門 の忽那憲治教授とベンチャー設立の実績を持 つ山本一彦教授だ。

忽那 学内で研究科創設の議論をしている時、 理系の学生こそ企業家精神を学ぶべきだと提 案して認められ、山本さんに声をかけました。 山本 アメリカでは理系と文系の最高の知識 を併せ持つビジネスエリートがベンチャーキ



左から、尾崎弘之教授、坂井貴行教授、岩堀敏之特命准教 授、幸田徹特命教授、中町昭人特命教授、島並良教授。

ャピタリストとしてブレークスルーとイノベ ーションをつないでいます。日本でもそんな 人材を育てたい。過去に大学発ベンチャーに 関わり、大学の先生との距離感を埋められず に苦労した経験から、大学に入って同僚とし て一緒に仕事をしてみたいとの思いもあり、 転身を決めました。

忽那 前期課程の学生は、毎週月曜、全員が 揃い、朝から夕方まで私たちの授業を受けま す。学生はそもそも経営に興味がないし、私 も理系の学生に教えた経験はないから、最初 は戸惑いましたね。

山本 いきなり剛速球を投げてもキャッチで きない(笑)。最初は緩い球を投げることを覚 えました。「経営を学ぶ理系学生は君たちだけ。 就職で差別化できる」と話したり、学生に人 気のある企業を実例に事業戦略を教えたり。 そこを入り口に、2年間で文系大学院レベル の基礎知識は身につけてもらいます。

忽那 卒業生は就職活動で役立ったと言って いましたが、真の意義を感じるのはこれから だと思います。企業に勤める技術系社員が、 40代になってから事業化のために経営を学ぶ 意味を知り、大学院に来ることも多い。20代 前半でそれに気づき、学べるのですから。

## イノベーションを起こす方法は これしかない

創設から2年。2018年からスタートした後期 課程では、より斬新な試みに取り組んでいる。

山本 後期課程の学生には具体的なシーズの 事業化プランを書かせ、厳しく審査します。企 業の意向で派遣された学生が多いですね。

忽那 企業にしてみれば、いくら研究成果を 上げても、それが事業につながらなければ意 味がない。だからこそ、事業化プランまで求め る私たちへの期待は大きいのだと感じます。

山本 この研究科は教員同士も文理の垣根が なく、同じ釜の飯を食う同僚として自由に議 論ができる。日本の大学でイノベーションを起 こす方法はこれしかない――そんな手ごたえ を感じています。

# アントレプレナーに 必須の4分野 知財戦略 財務戦略

事業創造に必要な技術戦略、知 財戦略、事業戦略、財務戦略を 理論と実践の両面から学んで成 功確率向上のフレームワークを 習得し、強い情熱をもった人材 を育てる。

### 忽那 憲治 教授

# KUTSUNA Kenji

愛媛県出身。1997年大阪市立 大学大学院経営学研究科修了。 博士 (商学)。大阪市立大学経済 研究所助教授などを経て2016年 より現職。アントレプレナー・フ ァイナンスに関する研究などが専 門。高校・大学でラグビー。

# 山本 一彦 教授

#### YAMAMOTO Kazuhiko

兵庫県出身。1988年一橋大学 商学部経営学科卒業。住友電工、 野村総研などを経て、創業期専 門のベンチャーキャピタルを創 業し、ベンチャー企業の投資育 成などに取り組む。2016年より 現職。リアルなビジネスと戦略 的企業家精神を学生に伝えたい。





# 神戸大学大学院 科学技術イノベーション研究科

〒657-8501 神戸市灘区六甲合町1-1 TEL:(078) 803-5332 FAX:(078) 803-5349 URL http://www.stin.kobe-u.ac.jp/