

21世紀COEプログラム

ゲノム科学の知的情報基盤・ 研究拠点形成



Kyoto University
21st Century COE Program
Genome Science
<http://www.bic.kyoto-u.ac.jp/COE/>

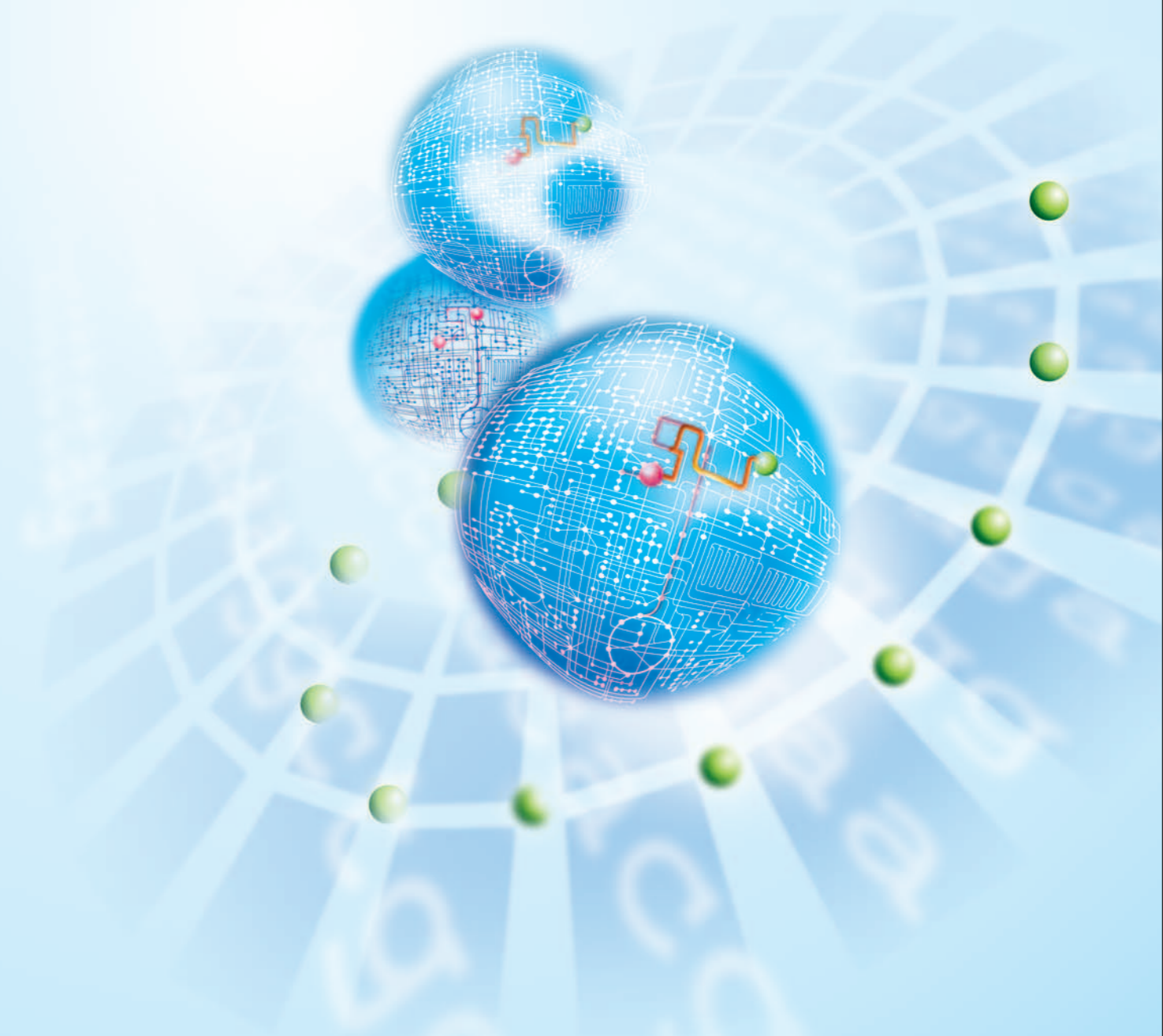
連絡先

京都大学化学研究所
バイオインフォマティクスセンター COE事務局
〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
TEL 0774-38-3270 FAX 0774-38-3269
E-mail: coe@bic.kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院
薬学研究科 21COE拠点室
〒606-8501 京都市左京区吉田下阿達町
TEL 075-753-9274 FAX 075-753-9275



Kyoto University
21st Century COE Program
Genome Science



組 織

21世紀COEプログラム ゲノム科学の知的情報基盤・研究拠点形成

拠点リーダー

金久 實
化学研究所バイオインフォマティクスセンター・センター長・教授

事業推進担当者

[環境ゲノミクス]

金久 實 化学研究所バイオインフォマティクスセンター・センター長・教授
阿久津達也 化学研究所バイオインフォマティクスセンター・教授
馬見塚 拓 化学研究所バイオインフォマティクスセンター・教授
加藤 博章 薬学研究科創薬科学専攻・教授
梅田 真郷 化学研究所複合基盤化学研究系・教授

[ケモゲノミクス]

藤井 信孝 薬学研究科創薬科学専攻・教授
富岡 清 薬学研究科創薬科学専攻・教授
竹本 佳司 薬学研究科創薬科学専攻・教授
上杉 志成 化学研究所生体機能化学研究系・教授

[薬理ゲノミクス]

辻本 豪三 薬学研究科創薬科学専攻・教授
乾 賢一 医学部附属病院薬剤部・教授
金子 周司 薬学研究科生命薬科学専攻・教授
五斗 進 化学研究所バイオインフォマティクスセンター・助教授

環境
ゲノミクス

ケモ
ゲノミクス

薬理
ゲノミクス



はじめに

ゲノム科学の 知的情報基盤・研究拠点形成

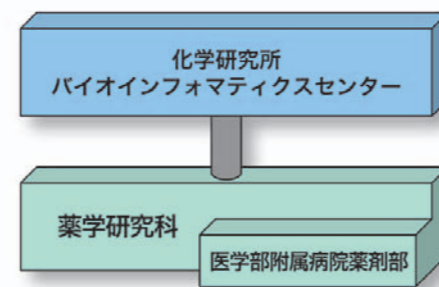
拠点リーダー: 金久 實(京都大学化学研究所バイオインフォマティクスセンター)



ゲノム科学は、ゲノムの情報から細胞・個体・生態系レベルでの高次生命現象の全体像を明らかにしていく、21世紀の新しい生命科学です。その中核となるのがバイオインフォマティクスで、個々の部品(遺伝子・分子)の集まりから生命の情報システムを再構築する概念と方法論が開発されてきました。これからのゲノム科学においては、とくに医療や産業への応用を目指したゲノム科学においては、個体や生態系を複雑な情報システムとしてとらえ、システムと環境との相互作用の観点から、ヒトの健康や地球環境の保全を考えていく必要があります。

本拠点ではそのために、ゲノム情報だけでなくケミカル情報の重要性を考慮し、従来からのゲノム情報の系統的解析(薬理ゲノミクス)に加えて、ケミカル情報の系統的解析(ケモゲノミクス)、およびゲノム情報とケミカル情報の関連解析(環境ゲノミクス)の方法論を開拓し、これら3つの先端研究領域を横断的につないだ研究拠点作りを行っています。同時に、バイオインフォマティクスの高度専門教育と副専攻教育、KEGGを中心とした知識集約型データベース構築による国際的な情報基盤整備を行っています。

本拠点は、京都大学の宇治キャンパスにある化学研究所バイオインフォマティクスセンターと、吉田キャンパスにある薬学研究科、医学部附属病院薬剤部が連携したプログラムです。創薬ターゲットと創薬リードの探索に新しい方法論を必要としている創薬科学は、ゲノムとケミストリーを融合したバイオインフォマティクスが最も有効な分野です。一方では、そのようなバイオインフォマティクスは、生命システムとケミカル環境との相互作用を解析する一般的な方法論でもあります。基盤となる創薬科学からより学際的な方向に発展することによって、世界水準のCOEとしての長期的な維持・強化に加え、バイオインフォマティクスにおける層の厚い人材養成が可能になると考えています。



学術研究の推進

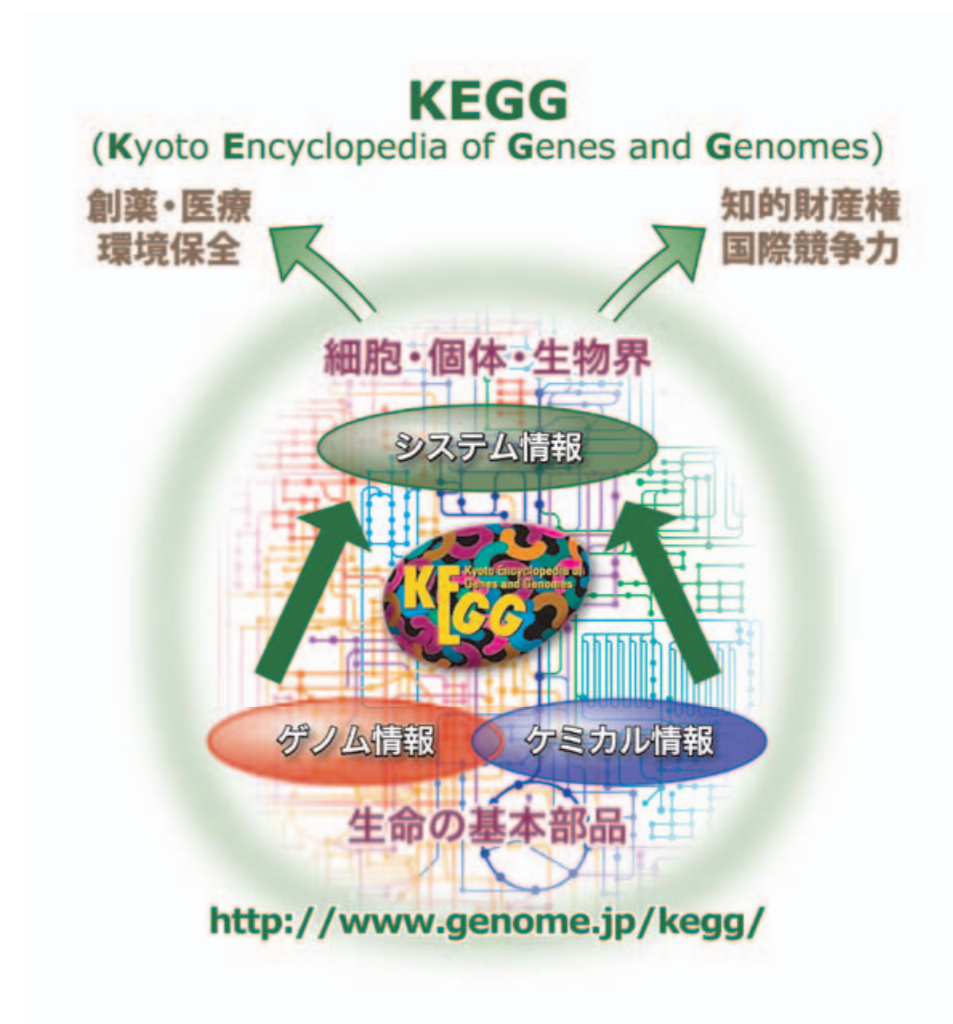
- ・ゲノムの情報から生命システムのはたらきと有用性を見いだす
- ・バイオインフォマティクス技術の実用化
- ・生命システムと環境との相互作用を解析する生命システム科学研究の推進

若手人材の育成

京都大学におけるバイオインフォマティクス教育研究拠点形成
(薬学研究科医薬創成情報科学専攻 2007年4月設置予定)

情報基盤の整備

ゲノムとケミストリーの融合による新たな知的情報基盤形成

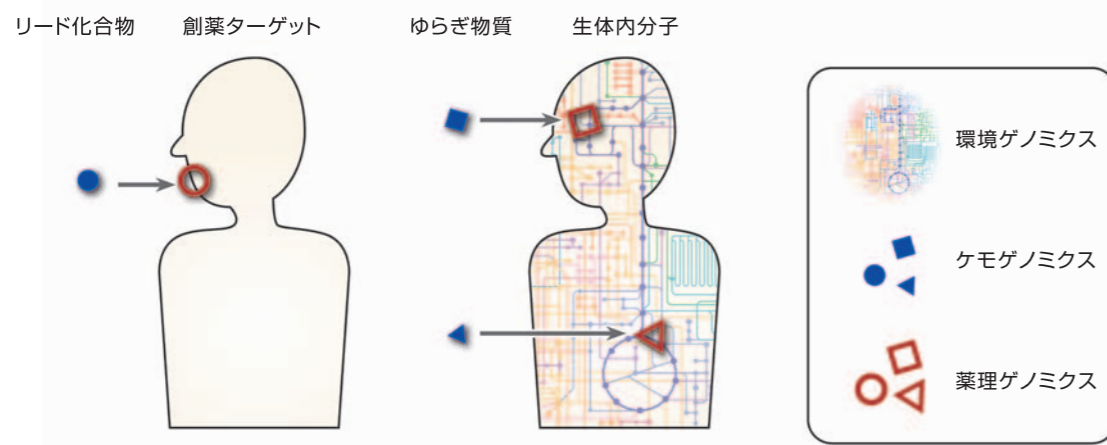




- ・平成15年8月11日(火) 月桂冠株式会社昭和蔵
21世紀COEシンポジウム・京都市酒蔵バイオVIL開所1周年記念式典
- ・平成16年1月13日(火) 京都大学薬学部新館12番教室
21世紀COEワークショップ・第4回Glycoinformatics研究会
- ・平成16年3月11日(木) 京都大学薬学部記念講堂
21世紀COE公開シンポジウム「ゲノムとケミストリーの融合を目指して」
- ・平成16年5月31日(月)～6月3日(木) 京都パルルプラザ
International Workshop on Bioinformatics and Systems Biology
- ・平成16年9月3日(金) 京都大学薬学部総合研究棟1階12番講義室
第1回「ケモゲノミクス研究会」
- ・平成16年10月5日(火) 京都大学薬学部記念講堂
21世紀COEプログラム「ゲノム科学の知的情報基盤・研究拠点形成」・
日本バイオインフォマティクス学会「創薬インフォマティクス研究会」共催シンポジウム
- ・平成16年11月17日(水) 京都大学薬学部記念講堂
第2回「ケモゲノミクス研究会」
- ・平成16年12月5日(日)～7日(火) 京都大学薬学部記念講堂
Seoul-Osaka-Kyoto Joint Symposium on Pharmaceutical Sciences for
Young Scientists, ChemoGenomics 2004
- ・平成17年2月1日(火) 京都大学薬学部マルチメディア講義室
2003年度COE研究員発表会
- ・平成17年3月2日(水) 京都大学薬学部記念講堂
第1回「21世紀COE若手研究者研究討論会」

- ・平成17年3月24日(木) 京都大学化学研究所共同研究棟
21世紀COE公開シンポジウム「ゲノムからケミカルゲノムへ」
- ・平成17年5月25日(水) 京都大学薬学部記念講堂
第3回「ケモゲノミクス研究会」
- ・平成17年8月22日(月)～25日(木) フンボルト大学ベルリン
5th International Workshop on Bioinformatics and Systems Biology
- ・平成17年12月15日(木)～16日(金) ぱるるプラザ京都
KEGG Anniversary Symposium: From Genomics to Chemical Genomics
- ・平成18年1月19日(木) 京都大学薬学部記念講堂
第4回「ケモゲノミクス研究会」
- ・平成18年2月1日(水) 京都大学薬学部23講義室
2005年度COE研究員発表会
- ・平成18年3月1日(水) 京都大学薬学部記念講堂
第2回「21世紀COE若手研究者研究討論会」
- ・平成18年5月20日(土) 京都大学薬学部記念講堂
第5回「ケモゲノミクス研究会」
- ・平成18年11月20日(月) 京都大学薬学部記念講堂
第6回「ケモゲノミクス研究会」
- ・平成19年1月29日(月)～30日(火) 京都大学医学部芝蘭会館
公開国際シンポジウム

創薬科学から生命システム科学へ ～ゲノムとケミストリーの融合～



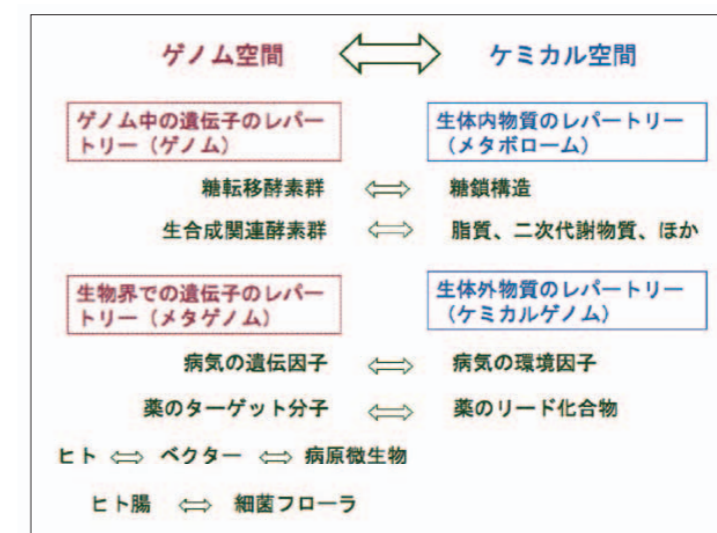
ヒトゲノム解読に続くポストゲノム研究では、創薬ターゲット探索やパーソナライズド医療など、ゲノム情報の有効利用が盛んに行われている。2003年秋に発表されたNIHロードマップにより、米国では創薬リードや計測プローブといった有用化合物の系統的探索を行うケミカルゲノミクス研究も始まった。本拠点研究はNIHロードマップ以前に立案したものであるが、当初からゲノム情報だけでなくケミカル情報の重要性を考慮し、創薬ターゲット探索を行う薬理ゲノミクス領域、リード化合物探索を行うケモゲノミクス領域、さらにゲノムと環境の相互作用を分子のネットワークとして理解する環境ゲノミクス領域を設定して研究を推進している。リード化合物と創薬ターゲットの探索は生体システムにゆらぎを与える物質とそのターゲットの探索であり、より一般的に生命システムとケミカル環境の相互作用を系統的に調べる研究へと発展する可能性がある。本拠点研究では、ゲノム情報とケミカル情報を融合したバイオインフォマティクスを開拓し、生体内分子の配線図を明らかにし生体外分子とのつながりを明らかにすることで、生命システムと環境との相互作用を理解すると同時に、医療や産業への新しい応用を目指している。



反応ネットワークによるゲノムとケミストリーの融合

遺伝情報を担うDNA、RNA、タンパク質は遺伝コードとテンプレート(鋳型)に基づく複製・転写・翻訳で合成される。これに対し糖鎖、脂質、多くの二次代謝物質の構造はテンプレートに書かれているのではなく、生合成経路に書かれている。このような生合成コードは遺伝コードに比べてはるかに複雑であり、そのごく一部分が解読されているにすぎない。一方、抗生物質や生薬・薬用植物など生物が生産する化合物には、これまでの経験と知識から様々な有用性が見いだされ活用されている。多くの生物種の全ゲノム配列が決定されるに伴い、ゲノム中の遺伝子のレパートリーと生体内物質のレパートリーとの関連、さらには相互作用し得る生体外物質のレパートリーとの関連を推定できる可能性が出てきた。本研究ではこのようなゲノム空間とケミカル空間の関連(図参照)の観点から生体内化学反応と合成・分解経路に関する知識を集約し、ゲノムとケミストリーを融合したバイオインフォマティクスの新たな方法論を開発して、創薬等の応用研究に適用することを目指している。

これまでにまず糖転移反応に関する知識を集約し、ゲノムまたはトランスクリプトーム中の糖転移酵素遺伝子群から糖鎖構造を予測する方法を開発した。つぎにカルボン酸やアミノ酸を単位として合成されるポリケチドや非リボソームペプチドについて同様の解析を行った。その他の一般的な化合物については、既知の生体内化学反応に伴う化学構造変化をRDMパターンと呼ぶ分類体系で知識ベース化して、化合物の反応経路を予測する方法を開発中である。生体外の環境物質を微生物が分解する経路の予測については十分な精度で可能となった。



京都大学化学研究所

バイオインフォマティクスセンター

阿久津 達也



ゲノム情報解析のためには様々な情報技術が必要となるが、我々は情報技術の中でもアルゴリズムを中心に研究を行っている。具体的には、配列検索、タンパク質およびRNAの高次構造の予測と解析、化学構造の解析および設計などを対象に、高速かつ柔軟なアルゴリズムの開発を目標に研究を行っている。また、最近では、生物情報ネットワークの構造や動特性の数理解析も行っている。

生物情報ネットワーク構造の数理解析

最近の研究により代謝ネットワーク、タンパク質相互作用ネットワークなどの生物情報ネットワークが「スケールフリー」と呼ばれる共通の数理的性質を持つことがわかってきた。さらに、そのようなネットワークを生成する各種の数理モデルも提案されている。我々も代謝ネットワークやタンパク質相互作用ネットワークのスケールフリー性の数理解析を行っており、その成果の一つとして、化合物を頂点とした基質ネットワークが $P(k) \propto k^{-\gamma}$ というスケールフリー則に従う場合、化合物もしくは酵素を頂点とした反応ネットワークは $P(k) \propto k^{-\gamma+1}$ というスケールフリー則に従うというスケールフリー性の変換則を発見した(図1)。また、遺伝子ネットワークの制御という挑戦的な課題にも取り組んでおり、ネットワーク構造の複雑さと制御の複雑さの関係を部分的に解明するなどの成果をあげている。

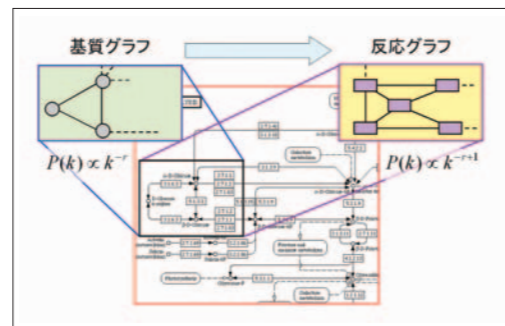


図1 代謝ネットワークにおけるスケールフリー性の変換則

カーネル法を用いた化学構造の解析と設計

カーネル法やサポートベクターマシンとよばれる統計的情報解析手法がバイオインフォマティクスにも有効に適用されつつある。この手法を有効に適用するためには、対象間の類似度を測るカーネル関数を開発することが必要となるが、我々は化学構造間の類似度を測るカーネル関数を開発した(図2)。さらに、活性の推定にとどまらず、新規化合物設計のための情報技術の開発にも取り組んでいる。具体的には従来手法とは逆に、特徴ベクトルから構造を推定することにより新規化合物を設計するという方法の開発に取り組んでいる。

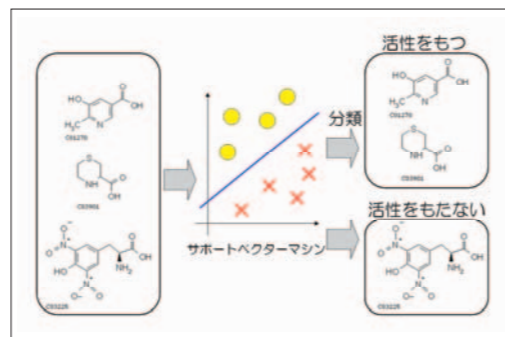


図2 カーネル法を用いた化合物の活性の推定

京都大学化学研究所

バイオインフォマティクスセンター

馬見塚 拓



プロテオームとはタンパク質による生体活動の全体像であり、我々の目的はプロテオームを中心とした生命現象に関連して蓄積されたデータから有用な知識や情報を抽出・解析するための先端情報科学技術を提案・開発し、それらの応用から生物学等の関連分野、特に薬学・医学に貢献することにある。プロテオームにおいては、タンパク質とともにタンパク質機能に触媒される低分子化合物の化学反応が中心的役割を果たす。創薬科学を念頭においた場合にこのような低分子化合物及びその化学反応の解析が重要であり、我々が進めてきたこれらに関連する研究例を以下2点挙げる。

グラフ理論による化合物記述子の開発

グラフ理論において「木幅(tree-width)」と呼ばれるグラフの複雑さの尺度が知られている。木幅はグラフの木への近さを表す尺度であり、ノード数 n のグラフに対し、木であれば1、環状の部分構造を持てば2、完全グラフであれば $n-1$ となる。そこで、化合物の化学式の平面構造をグラフとみなし、生体内化合物及びそれらの化学反応と木幅の関係から木幅による化合物記述の有用性を示した。より具体的には、木幅を変化させる反応の酵素種類は限られたEC番号を持つ酵素に集中する、また、代謝パスウェイをグラフとみなした場合に木幅を変化させる反応をこのグラフから除去するとグラフ結合性が大きく変化する、等が挙げられる。

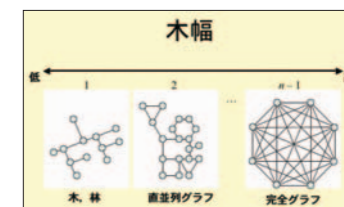


図1 木幅

マイクロアレイデータからの代謝パスウェイの推定

代謝パスウェイデータベースは文献の生体内化学反応情報から作られており、ある条件において各パスが有効か否かという情報は提供されないことが多い。そこで、既存のパスウェイに対してマイクロアレイデータにより生体内で実際に有効なパスを抽出する手法を構築した。提案手法は、パスウェイを混合マルコフモデルとみなしマイクロアレイデータからその確率パラメータを推定することにより有効パスを抽出する。モデルパスウェイとして解糖系の一部を用いた実験により有効パスの抽出のみならずパス上の遠距離相互作用(遠距離に位置する反応間における酵素の選択性)が抽出でき手法の有用性を確認した。

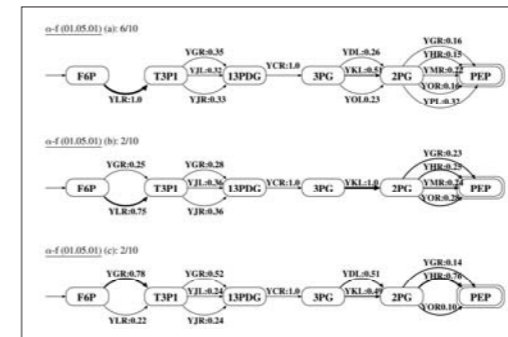


図2 得られた3種類の代謝パスパターン

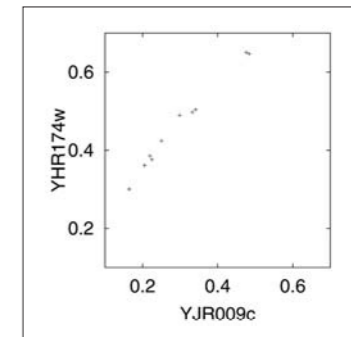


図3 T3P1→13PDGと2PG→PEP間の遠距離相互作用

京都大学大学院薬学研究科

創薬科学専攻

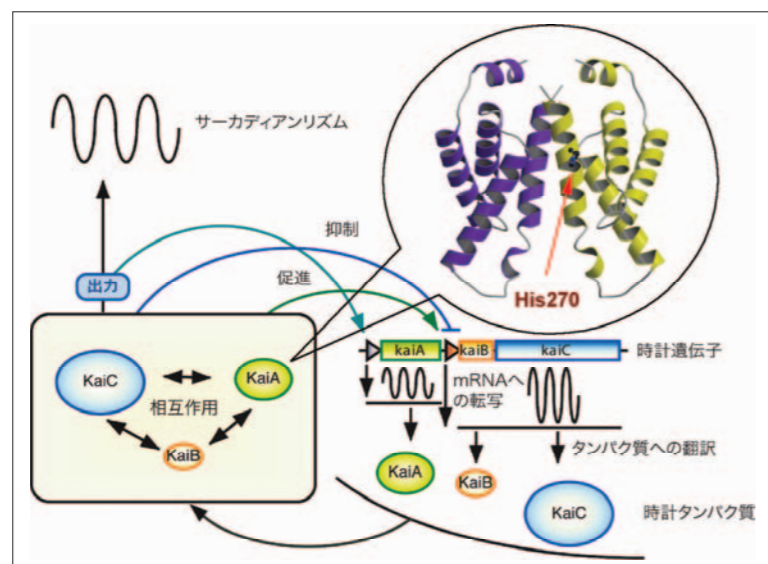
加藤 博章



生物時計の構造生物学

構造生物学は、生命現象の仕組みをその担い手であるタンパク質など生体分子の立体構造に基づいて明らかにする学問である。我々は、構造生物学の研究手法の高度化を進めると同時に、創薬のカギとなる生理学的に重要なタンパク質の機能を立体構造に基づいて理解することを目指している。特に、SPRING-8の放射光X線の特徴を活かし、膜タンパク質など結晶化の困難なものの立体構造研究や、1 Åをはるかに凌ぐ超高分解能X線結晶解析法の確立を行っている。また、立体構造決定に留まらず、分子生物学から物理化学に至るいろいろな手法を駆使して、構造を基にした機能を解明するための研究を展開している。

生物時計はほとんどの生物に存在し、生命活動を24時間周期で制御している。地球上に最初に現れた光合成生物であるシアノバクテリアにおいては時計遺伝子クラスター*kaiABC*が生物時計本体の遺伝子であり、時計タンパク質KaiAは*kaiBC*オペロンの発現を促進し、時計タンパク質KaiCはその発現を抑制することが知られている。しかしながら時計タンパク質がどのような分子機構で時計を発振させ、周期を24時間に調節しているのか、未だ明らかにはなっていない。我々は、KaiAタンパク質が時計の発振を司る“時計発振ドメイン”であることを解明するとともに、X線結晶解析を用いてその三次元構造を決定した。さらに時計発振ドメインはKaiAの2量体化、KaiCとの結合およびKaiCリン酸化の促進に必須であること、2量体構造中央の凹面最深部に存在するHis270がKaiCとの結合およびKaiCのリン酸化促進に重要であり、時計発振を行うために必須の残基であることを初めて突き止めた。(Uzumaki et al., *Nat. Struc. Mol. Biol.*, 11, 623-631 (2004))。



京都大学化学研究所

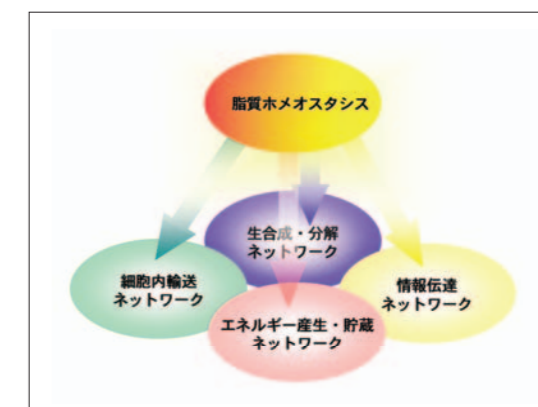
複合基盤化学系

梅田 真郷



脂質ホメオスタシスとゲノムネットワーク

最近の脂質メタボローム解析技術の格段の進歩により、生体内には一万種以上の脂質分子種が存在することが明らかとなり、さらに、一つ一つの脂質分子の中に多量の情報が蓄積されていることも明らかとなりつつある。例えば、これまで単なる細胞の包みと考えられていたリン脂質は、様々な酵素の作用によりプロストグランジン、ロイコトリエン、血小板活性化因子、カンナビノイド、リゾホスファチジン酸、イノシトールリン酸、セラミド、等々の無数の生理活性脂質に化学変換されることにより、細胞の**情報伝達ネットワーク**において重要な役割を果たしている。一方、細胞内には、脂質分子と相互作用する様々な脂質トランスポータータンパク質、トランスファータンパク質、転写因子、核内受容体等々のタンパク質が存在し、脂質分子を細胞内で活発に移動させる**脂質輸送ネットワーク**が形成されている。したがって、脂質分子は、細胞内あるいは細胞膜中の一定の場所に留まっていることは決してなく、その輸送ネットワークに乗って様々な部位に移動・局在し、細胞内での濃度勾配が形成されている。また、細胞の増殖期においては、細胞周期に連動して大量の脂質分子の合成と分解が繰り返されているが、各々の脂質分子種の量比は常に厳密に制御されている。脂質の生合成がどのようなメカニズムで細胞周期と連動し、その量比が調節されているのか、脂質の**生合成・分解ネットワーク**の実体は未だ掴まれていない。最後に、脂質は生命活動を維持するために必要なエネルギー源であり、また主要なエネルギー貯蔵庫でもある。エネルギー源としての脂質は、アミノ酸並びに糖質代謝とも密接に関連して生体のエネルギーレベルの調節を行う**エネルギーセンサー**として働き、**エネルギー産生・貯蔵ネットワーク**を形作っている。このように生体内においては、**脂質ホメオスタシス**とも呼ばれる重層的な脂質の制御ネットワークが形成されている。現代社会においては、脂質ホメオスタシスの破綻が、肥満や糖尿病、動脈硬化等の成人病、癌、感染症、神経性疾患などにも深く関与することが明らかにされつつあり、その原因解明が焦眉の課題として残されている。一方、我々は、脂質分子の化学的変化ばかりでなく、細胞膜中での脂質分子の位置や集合状態の変化を細胞が情報として捉え、細胞の形態形成やサイズの制御あるいは個体の温度選択行動にも関与することを明らかにしつつある。本課題では、生化学・分子生物学による詳細な還元的アプローチにゲノム情報を加え、システム全体のダイナミズムを構造的に捉え直す新たな方法論を開拓することにより、脂質ホメオスタシスの全容を明らかにすべく研究を進める。



京都大学大学院薬学研究科

創薬科学専攻

藤井 信孝

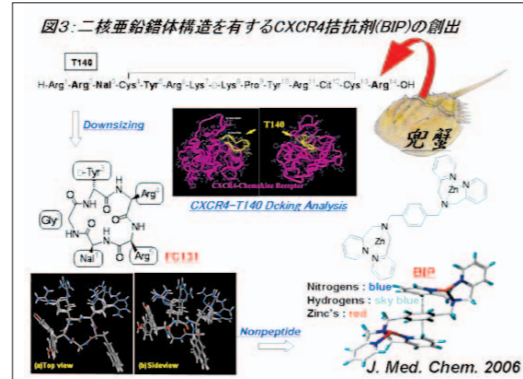
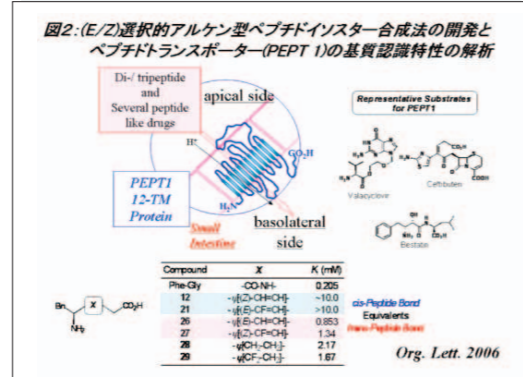
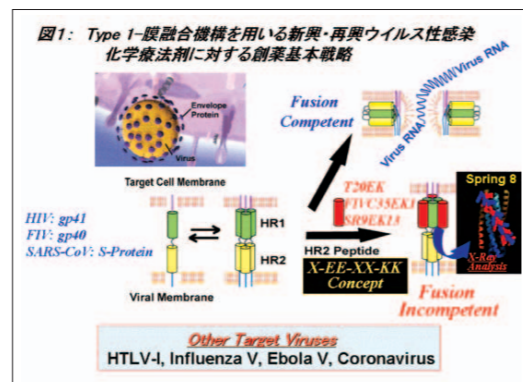


ケミカルプロテオミクスを基盤にしたゲノム情報収斂型創薬化学

本プロジェクトでは“ゲノム科学とケミストリーの融合”を計り、ゲノム情報を集約して見いだされる創薬標的に対してケモゲノミクス(ケミカルバイオロジー)を基盤にした創薬化学研究・教育の拠点形成を目指している。

具体的にはケミカルプロテオミクスに立脚した創薬基盤の革新という一つの座標軸を設定し、その実践として、本年度は(1)I-型膜融合機構を利用するHIV-1に対して独自に開発したXEEXXXK

コンセプトを活用して強力且つ特異的な活性を有する多剤耐性克服型膜融合阻害剤T20EKを開発し、さらに同様な戦略を用いて猫エイズの病因ウイルスであるFeline Immunodeficiency Virus(FIV)およびSARS-CoVに対して細胞レベルで抗ウイルス活性を有するFIVC35EK, SR9EK13をそれぞれ開発した。一方SARS-CoV膜融合阻害剤の研究を通じて直接間接経路のみならずエンドサイトシスを介する間接的感染経路の防御の重要性を再認識し、今後の鳥インフルエンザ、エボラ出血熱、成人T-cell白血病等の他の新興・再興ウイルス感染症に対する膜融合阻害剤開発研究に対する有用な基礎的知見を得た(図1)。(2)アルケン型イソスターおよびフルオロアルケン型イソスターの(Z/E)選択的精密合成手法を開発し、ペプチドトランスポーター、PETP 1の基質認識特性を明らかにするとともに、フルオロアルケン型イソスターのバイオイソスターとしての特性を厳密に精査することの必要性を明らかにした(図2)。(3)当該研究拠点で世界に先駆けて見出したCXCR4-ケモカイン受容体のペプチド性拮抗剤をリードとして特異な二価亜鉛錯体構造を有する非ペプチド性拮抗剤の創出に成功した(図3)。また一連のCXCR4拮抗剤をケミカルプローブとしてCXCR4と生体内生理および病理との関連を精査した。



京都大学大学院薬学研究科

創薬科学専攻

富岡 清

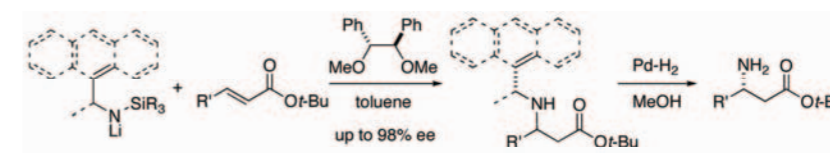


生物情報活性アミン類を指向する立体選択的不斉合成方法論の開拓

分子と分子の動的な相互作用の結果が情報機能であり、その合理的ネットワーク集積として生命の発生、分化、恒常性が保証されている。本研究では、化学結合形成反応の初期過程が分子による分子の認識であると捉え、分子化学種の活性化と化学選択性の獲得を可能とする配位性キラル分子の開発を目的とし、動的分子認識の実現化として不斉合成と化学選択的な結合形成反応の確立に挑戦している。特に、含窒素生物情報活性分子の超高効率の全合成に展開している。

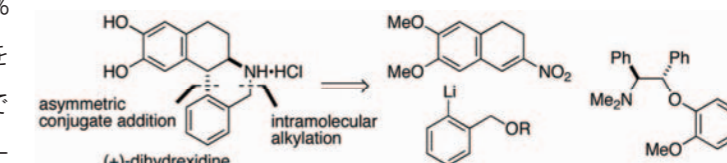
1. リチウムアミドの不斉共役付加によるβアミノ酸類の不斉合成法

アミン性窒素基を求核反応剤とする不斉合成は、キラル触媒による方法が最も望ましい。トリメチルシリル基を持つベンジルアミンから発生するリチウムアミドは、キラル配位子との錯体化により不斉反応剤化され、種々の不飽和カルボニル化合物に不斉共役付加する。立体選択性も高く98% eeに達する。当量以下のキラル配位子によっても比較的高い不斉選択性が発現した。



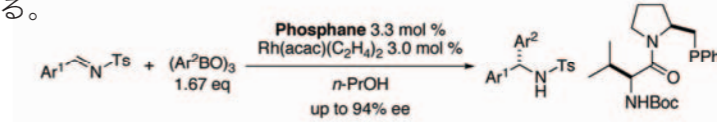
2. ニトロオレフィンへの不斉共役付加による含窒素化合物の不斉合成法

ジヒドロキシジンを代表される含窒素芳香族化合物はドーパミンD1のフルアゴニストとして位置づけられる。ニトロオレフィンに対するフェニルリチウム類の不斉共役付加反応はキラル配位子によりほとんど完璧に制御され、97%に達する不斉収率で付加生成物を与えた。ニトロ基をアミンに還元できるので含窒素複素環化合物の一般的な不斉合成法の誕生である。



3. イミンへの不斉アルキル化反応によるアミン類の不斉合成

キラルホスファンはRh(I)と錯形成してアリールボロン酸のイミンへの触媒付加を不斉制御して94% eeに達する付加生成物を与える。



発表

- H. Doi, T. Sakai, et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2003, 125, 2886.
- M. Yamashita, K. Yamada, et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2004, 126, 1954.
- M. Kuriyama, T. Soeta, et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2004, 126, 8128

京都大学大学院薬学研究科

創薬科学専攻

竹本 佳司



プロテアーゼを特異的に認識し標的とする機能分子の創製

化学情報を系統的に解析して創薬研究を行うためには、生体高分子と多点で相互作用可能な新たなファーマコホアの探索と、それらを適切な空間に配置した化合物群の構造活性相関を調べる必要がある。本研究は、標的とする生体高分子と強固にかつ選択的に相互作用する低分子化合物を探索する情報技術として、新規な創薬テンプレートとファーマコホアを開発し、薬物のデザインに応用することを目的とする。

1. プロテアーゼ様作用を有する機能分子の設計と新規ファーマコホアの探索

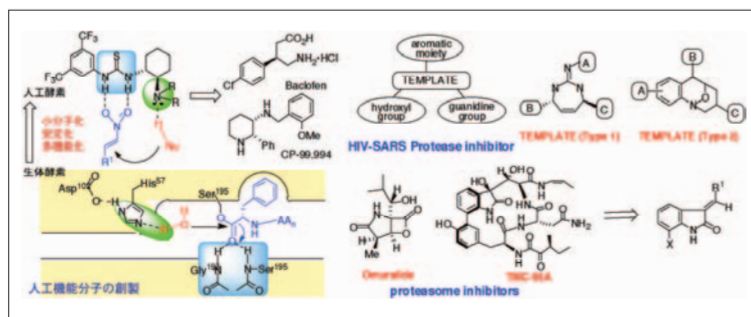
我々はセリンプロテアーゼに注目し、その活性部位と酵素反応機構を参考に類似の機能を有する低分子化合物の設計と合成を行い、生体高分子の低分子化とモデル化に取り組んでいる。その結果、3級アミノ基を有するチオ尿素体が酵素反応と同様に、一般酸・塩基作用を協同的に行う優れた触媒機能を有することを初めて明らかにした。さらに本触媒を利用し、医薬品として市販されているバクロフェンやSubstance P拮抗剤CP-99,994の不斉合成ルートを確立した。

2. 新規創薬テンプレートとなる環状化合物の新規合成法の開発

HIVやSARS等のプロテアーゼ阻害剤の開発を目標として、水酸基、グアニジン基、芳香環部の三成分を三方向に配置したモデル化合物の合成を行った。さらに、多種多様なファーマコホアを導入できる多官能性環状創薬テンプレートとして、Type 1とType 2をデザインし、当研究室で開発したキララなイリジウム触媒を用いた位置およびエナンチオ選択的なアリル位ヘテロ原子導入反応などを駆使して、それら創薬テンプレートの不斉合成に成功した。

3. プロテアソーム阻害活性を有する天然化合物の全合成研究

最近、プロテアソーム阻害剤の中から新しいタイプの抗癌剤が見出され、さらにアルツハイマー病等の治療薬としても期待されている。我々はプロテアソーム阻害剤として作用機序の異なるomuralideとTMC-95Aを標的化合物として選び、それらの全合成ならびに多様な誘導体合成法の確立を目指している。その結果、TMC-95A合成における問題点の1つであった(3E)-オキシインドール中間体の合成がインジウムを用いることにより立体選択的に合成可能であることを見出し、さらにomuralide類の合成にも応用可能なロジウム触媒を活用した新しい触媒的合成法の開発にも成功した。



京都大学化学研究所

生体機能化学系

上杉 志成

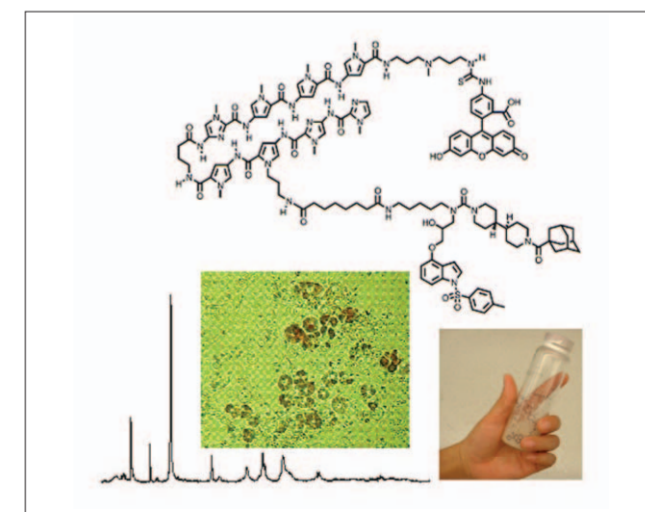


小分子化合物を起爆剤とした生物学的研究

人間の歴史の中で、生理活性小分子化合物は人間の疾病を治癒し、生命現象を解く鍵となり、医学、生物学の進歩に貢献してきた。ちっぽけな有機化合物が生命の仕掛けを明らかにする、人間が工場の釜で石油から作った化合物が人間の命を救う——考えてみると驚くべきことだ。私たちの研究室では、ユニークな生理活性を持った小分子化合物を発見し、道具として利用することで、生命現象を探究してきた。今後も、遺伝子発現、細胞分化、遺伝子組み換えなどを変調する有機化合物を見つけ出して、生物学のいろいろな局面での応用を試みる。生物の仕組みは非常に複雑だが、有機化合物を起爆剤として用いることで、新たな切り口で生物を研究することができる。有機化合物の化学を出発点として生物学の研究に帰着するこのような研究は、ケミカルバイオロジーやケミカルジェネティクスと呼ばれる。私たちの研究は全くの基礎研究だが、将来の創薬にも新しいアイデアを与えることができればと願う。

ケミカルゲノミクス

ケミカルゲノミクスはケミカルジェネティクスを網羅的にした学問。個別の研究室では実行が困難だが、COE内外の多くの研究室との連携や国家プロジェクトによって、ユニークな生理活性を持った有機化合物がゲノムワイドに発掘され、有機化合物を起爆剤とした生物や疾病の網羅的研究が可能になると期待する。私たちの研究室では、そのような連携へ向けた基盤技術研究に従事している。ケミカルゲノミクスそのものは創薬ではないが、その化合物を基盤とする基礎研究で培われた知識と技術は、創薬に応用することができる。ケミカルゲノミクスは創薬を加速する「触媒」となるだろう。



京都大学大学院薬学研究科

創薬科学専攻

辻本 豪三



ゲノム情報を利用した創薬

当教室では、細胞膜に存在して生体反応で重要な役割を果たしているG蛋白共役型受容体(GPCR)や、網羅的な遺伝子解析手法として脚光を浴びているマイクロアレイ技術、そしてゲノム情報をはじめ膨大な情報を解析するために必要なバイオインフォマティクスを中心とした研究を行っている。

G蛋白共役型受容体GPCRとゲノム創薬

新規受容体特異的薬物の開発と臨床応用を目指す。受容体機能に関するこれまでのアプローチでは薬物の親和性や共役するG蛋白質の種類の違いばかりが強調されていたが、受容体蛋白の局在が細胞情報認識上重要な因子であることが認識されてきた。当教室では受容体の細胞内動態一特に局在、輸送などについての分子機構に関する研究に注目し、受容体分子の細胞内移行に着目したスクリーニングシステムの開発を行っている(図1)。この手法により、新規受容体GPR120の天然リガンドとして脂肪酸を同定した。さらに、GPR120が腸内分泌細胞に存在し食事性の脂肪酸刺激によりGLP-1等のペプチドホルモンの分泌を促進することで、これを介してinsulin分泌、食欲の制御を行うことを示した。この結果は、GPR120が肥満、糖尿病、摂食異常等の疾患に対して効果的な予防と治療の標的であることを示

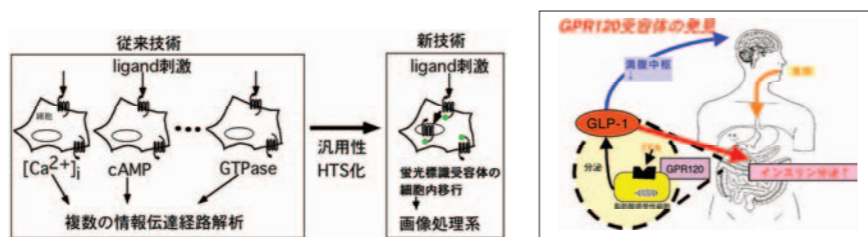


図1 受容体の細胞内移行を用いたスクリーニングシステム 図2 新しいスクリーニングシステムによるGPR120受容体の発見

すとともに、当研究室のアプローチが、創薬標的分子の迅速な同定と解析に有効であることを示している。(図2)

マイクロアレイとゲノム創薬

マイクロアレイ(DNAチップ、図3)は種々の病態に特異的な遺伝子発現パターン(プロファイル)を同定することで医薬品開発のターゲットを迅速に発見することが期待される。当教室では遺伝子発現プロファイル・データベースの構築と、遺伝子情報が未だ充実していない動物モデルの各臓器別標準ライブラリーcDNAマイクロアレイを作製し、疾患動物モデル動物における病態遺伝子発現の解析を行っている。また、京都大学附属病院臨床診療科との共同研究により癌における遺伝子発現解析についての研究を行っている。

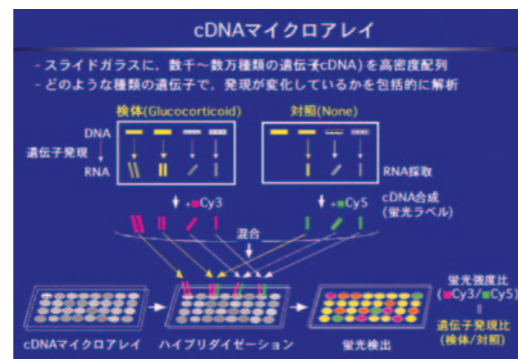


図3 マイクロアレイ

京都大学医学部附属病院

薬剤部

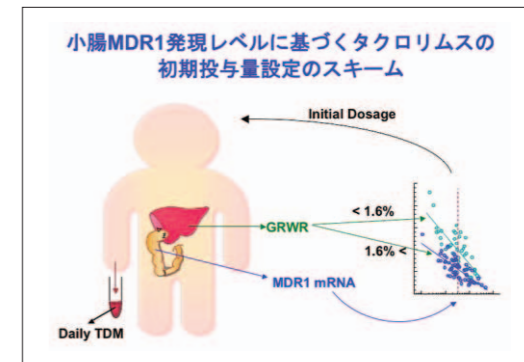
乾 賢一



医薬品の体内動態と薬効・毒性に関する基礎と臨床

本テーマでは、腎臓、肝臓、小腸などを中心として薬物トランスポータの分子レベルでの解析から、テーラーメイド薬物療法の確立に至るまで、体系的な薬物動態研究を展開している。

最近のトピックスとしては、長年分子実体が不明であった、腎臓の近位尿細管上皮細胞の刷子縁膜に局在するH⁺/有機カチオンアンチポータの遺伝子クローニングを行い(MATE)、輸送機能、発現分布、細胞膜局在性について明らかにした。また、テーラーメイド薬物療法を実現させた例として、生体肝移植患者における免疫抑制剤タクロリムスの個別化投与設計が挙げられる。すなわち、小腸においてタクロリムスの吸収障壁として機能しているP-糖タンパク質/MDR1及びCYP3A4の発現量とタクロリムス血中濃度/投与量比(C/D)との比較解析を行ったところ、生体肝移植時における小腸MDR1発現量は、術直後のタクロリムス投与設計のための有用なバイオマーカーになることを見出した。これらの情報は、現在生体肝移植後のタクロリムス免疫抑制療法に活用されている。



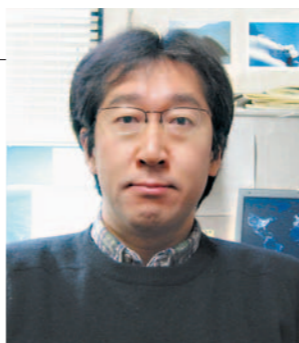
我々の研究室では、1)薬物トランスポータの分子・細胞生物学的解析と臨床応用に関する研究、2)病態時における薬物動態の変動因子の解析と投与設計に関する研究、3)医薬品の副作用・毒性に関する研究、4)医薬品の相互作用と適正使用に関する研究、5)テーラーメイド医療とpharmacogenomicsに関する研究、に取り組んでいる。



京都大学大学院薬学研究科

生命薬科学専攻

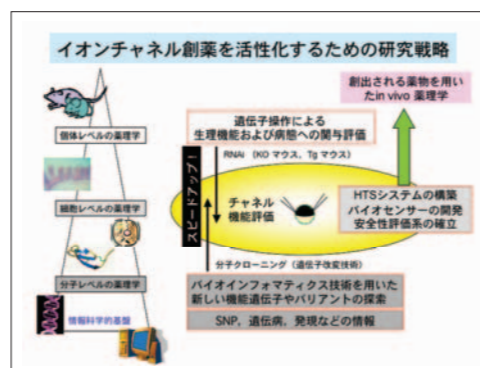
金子 周司



神経系に発現するTRPチャンネルの機能に関する研究

ヒトゲノム解読によって始まった未知なる遺伝子の探索とその機能解析の過程において、多数のイオンチャンネルが発見されている。その中であってTRPチャンネルは細胞内Ca²⁺濃度、各種二次メッセンジャー、酸化還元状態、各種感覚刺激など多種のシグナルに応じて開口するCa²⁺透過性チャンネルファミリーであり、様々な細胞の機能や生死を決定づける重要な膜輸送タンパク質であることが分かりつつある。また、いくつかのTRPメンバーは神経系に特異的に発現することがわかっているものの、その病態生理学的意味はほとんど明らかにされていない。

本研究室では、中枢ニューロンに特異的に発現し、活性酸素種、細胞内Ca²⁺濃度、リン酸化およびIP₃受容体との共役などによって複雑に開口が制御されるTRPM2/7およびTRPC3/4/5チャンネルに着目し、これらカチオンチャンネルの活動制御プロセスと、ニューロンにおける発現の生理的意義、さらには病態モデルにおける関与を時間空間的に評価している。イオンチャンネルの活動がTRPMのように酸素ラジカル等によって制御されるという現象は、ニューロンの分化、シナプス形成、細胞死などのメカニズム研究に新しい観点を提供する。また、TRPCチャンネルは胎生からシナプス形成までの間に強い発現を示すことから、ニューロンの分化およびシナプス形成に重要な役割を果たしていることが期待され、新しい創薬標的の創出を目指している。



生命科学用語オントロジーの研究

生命科学領域において、ほとんどの研究成果は論文という文字情報として公表される。最近のように研究が加速し、情報量が指数関数的に増大している状態では、重要な情報を専門家の努力と判断に頼って解読する方法はすでに限界を迎えている。さらに、ゲノムやタンパク質の配列情報が正規化データベースとして蓄積され、コンピュータによって情報の解読や計算が可能となっている現状とは対照的に、医学研究報告に記述された人智は有効利用されないまま蓄積され続けている。もし医学情報の解読にコンピュータを用いた自動抽出の力を活用したいとするなら、事物や事象を記述する専門用語の概念体系(オントロジー)が英語と日本語の対応を含めて整理、共有されることが必須となる。

本研究室では、独自の文献コーパス解析に基づいた生命科学領域の学術用語についてオントロジーを構築し、英日対応シソーラス(概念の上下関係を含む類義語辞書)を世に広く提供することによって医学研究報告の自動解読やsemantic web技術の発展を促進する目的の情報科学研究を行っている。

京都大学化学研究所

バイオインフォマティクスセンター

五斗 進



薬理ゲノミクスのための化合物・糖鎖データベースの開発

本研究では、化合物構造・化学反応データベースLIGANDの開発を通して、ゲノムや遺伝子発現などのデータを薬理ゲノミクスへと応用できる仕組みを構築することを目的としている。特に、KEGGシステムでも中核をなすパスウェイ情報・階層分類情報との連携を重点においている。これまでは、LIGANDの中でも糖鎖構造データベースGLYCANの開発を中心に進めてきたが、現在は薬剤構造データベースDRUG、反応パターンデータベースRPAIRの構築にも力を入れている。

1. 糖鎖構造データベース GLYCAN

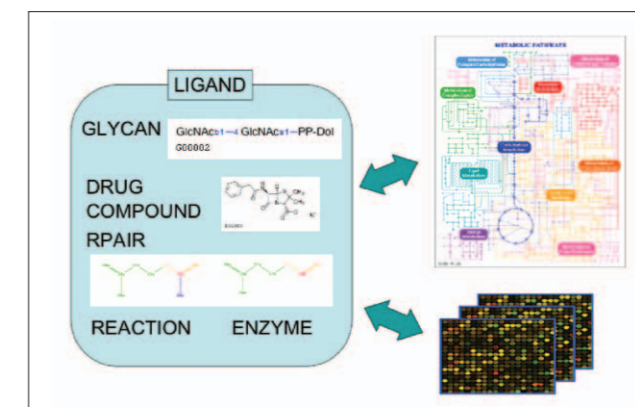
GLYCANは、文献に報告されている糖鎖構造をデータベース化したものである。糖鎖構造を解析するためのツールとして糖鎖構造マップを開発し、遺伝子発現情報からの糖鎖構造予測や糖鎖構造の種間比較に応用してきた。また、糖鎖構造入力ツールであるKegDrawを開発し、新規データの入力や類似構造予測に応用してきた。これらのツールの改良と新規データ入力を引き続き進めている。

2. 薬剤構造データベースDRUGと化合物構造データベースCOMPOUND

DRUGは、これまでCOMPOUNDに組み込まれていた薬剤の情報を独立させたものであり、薬効などの階層分類情報、薬剤開発の歴史をまとめた薬剤構造マップと連携した開発に力を入れている。また、代謝化合物を中心に扱うCOMPOUNDの開発も引き続き進めている。特に、遺伝子発現データ解析ツールKegArrayを改良し、遺伝子だけでなく化合物の情報も扱えるようにした。これにより、メタボロームデータをパスウェイ情報と関連付けて解析できるようになった。

3. 反応パターンデータベースRPAIR

RPAIRは、化学反応における基質と生成物の原子の対応関係を抽出して登録したデータベースである。原子の対応関係は、化学反応データベースREACTIONに登録されている反応の基質と生成物を構造アライメントして抽出している。原子の対応関係からは、さらに反応中心とその周辺の原子を、反応の前後での化合物の変化パターンとして抽出している。現在約7,000対の基質・生成物ペアが登録されており、そこから6,600程度の反応パターンが抽出されている。今後、RPAIRを応用して、新規薬剤や環境物質の分解経路などの予測へ発展させる予定である。



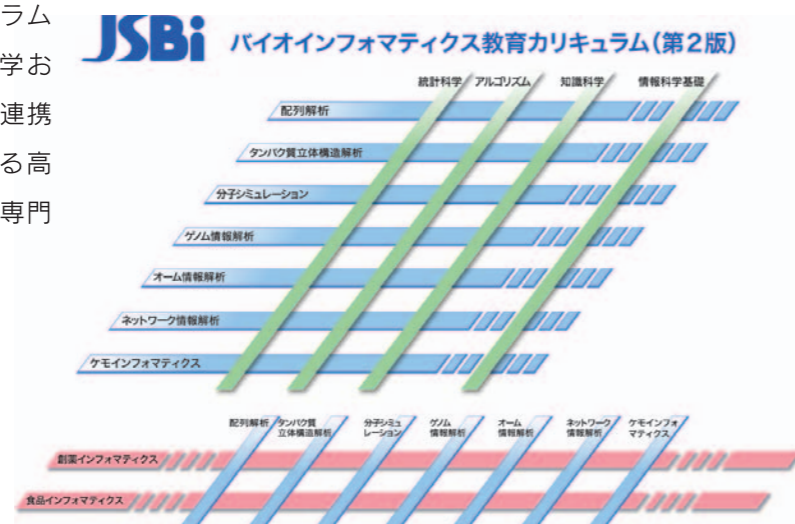
バイオインフォマティクス教育

～高度専門教育と副専攻教育～

バイオインフォマティクス分野で期待される研究人材には大きく2つのタイプがある。1つは新しい情報技術の開発や高度な情報解析を行うことのできる人材を養成する専門家教育、もう1つは実験系の生命科学研究者に情報科学のセンスを与える非専門家教育である。短期的には、あるいは即戦力としては、後者のタイプのトレーニングに社会的ニーズが高いように思われるが、外国製のツールやデータベースをうまく使いこなす人材がいくら育ったとしても、常に外国の後追いの状況から逃れることはできない。長期的な、あるいは国際競争力の観点からは、前者のタイプの教育が不可欠であり、後者においても生命システムの問題に対する理解を深める必要がある。これは本拠点の基本的な考え方、すなわちバイオインフォマティクスとは、単に生命科学の大量データと情報科学の実用的ツールとの融合ではなく、生命を複雑な情報システムとして理解する学問分野の融合であるとの考え方に沿うものである。

1. 高度なバイオインフォマティクス専門教育の国際化 (バイオインフォマティクスセンター)

化学研究所バイオインフォマティクスセンターは東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センターと共同で、科学技術振興調整費バイオインフォマティクス人材養成プログラム「ゲノム情報科学研究教育機構」を実施している。とくに日本バイオインフォマティクス学会が策定した教育カリキュラムに基く大学院講義を、京都・東京間のテレビ会議システムを用いて行っている。本拠点形成プログラムではこの人材養成プログラムと連携し、また米国ボストン大学およびドイツのフンボルト大学と連携して、国際的な活躍を期待できる高度なバイオインフォマティクス専門家の育成を行っている。



日本バイオインフォマティクス学会のカリキュラム(第2版) (c)Copyright 2006 Japanese Society for Bioinformatics

2. バイオインフォマティクス副専攻教育(薬学研究科)

ゲノム研究やポストゲノム研究、また近年のケミカルゲノム研究が創薬科学に与えたインパクトは非常に大きい。歴史的に様々な分野を融合してきた総合科学としての薬学において、情報科学を取り入れた薬学教育を行い、21世紀の新たな展開をはかる必要があることは自明のことであろう。本拠点形成プログラムによる薬学教育の改革の1つは、薬学研究科博士課程にバイオインフォマティクス副専攻コースを設置したことである。上記人材養成プログラムの講義はテレビ会議システムで薬学研究科へも配信されており、その一部を受講することで単位認定を行っている。



3. バイオインフォマティクス基礎教育(薬学部)

薬学教育の改革のもう1つは学部教育カリキュラムである。「基礎バイオインフォマティクス」と「応用バイオインフォマティクス」の2科目を新設し、既存科目の「基礎情報処理」、「基礎情報処理演習」、「バイオサイエンス統計基礎」や学生実習の見直しを行い、2回生から4回生まで基礎的なバイオインフォマティクスを段階的に身につけることができるようにした。これは薬学部としてはわが国でははじめての試みである。



薬学部カリキュラムの概要

| 年次 | 全学共通科目 | 主な専門科目 | バイオインフォマティクス関連 |
|------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1年前期 | 語学、ポケットゼミ 人文社会系科目、 自然科学系科目 | 薬学概論、薬学生物学 | メディアセンターID取得、情報倫理 薬学概論における全体像の紹介 |
| 1年後期 | | 一般生理学、熱力学、有機化学 | |
| 2年前期 | 語学、科学英語 人文社会系科目、 自然科学系科目 | 生化学(物質)分析化学、化学結合論、 量子化学、物理化学、機能形態学など | 基礎情報処理 基礎情報処理演習 |
| 2年後期 | | 生化学(代謝、核酸)有機反応論、構造 化学、薬理学、病理学、衛生化学など | 基礎バイオインフォマティクス バイオサイエンス統計基礎 |
| 3年前期 | | (午前)分子遺伝学、生理化学、放射化学、 薬理学、微生物学、天然物化学など (午後)学生実習 | アレイ解析、公共データベース操作 (学生実習) |
| 3年後期 | | (午前)細胞生物学、薬物動態学など (午後)学生実習、(3月)病院実習 | 核酸塩基配列解析、臨床統計演習 (学生実習) |
| 4年前期 | | (午前)新薬論、臨床薬学など (午後)特別実習(研究室配属) | 応用バイオインフォマティクス |
| 4年後期 | | 特別実習(研究室配属) | |