

生物時計とMAPキナーゼ

深 田 吉 孝 (生物化学専攻)

e-mail: sfukada@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

私たちの睡眠・覚醒のように、約一日の周期をもつ生物リズムは概日（サーカディアン）リズムと呼ばれ、体内に存在する概日時計に支配されている。この概日時計は約24時間（±4時間）の周期で自律的に分子発振しているが、明暗サイクルなど外界の環境因子を用いて周期を24時間に補正することができる。つまり概日時計システムは自律発振系の他に、外界からのインプットとしての（光）入力系、そして時刻情報を表現するための出力系から成る。例えば、脳内の松果体から夜間に分泌されるメラトニンの合成などは典型的な出力系といえる。概日時計機能が存在する組織は多様であり、脊椎動物では視交叉上核・松果体・網膜が主要な時計組織であるが、各組織の重要性は種によって異なる。

さて、時計発振機構の分子レベルの研究は、動物ではショウジョウバエを用いた解析が当初は圧倒的に進んでいた。ところが3年ほど前から、ヒトやマウスの時計遺伝子（分子）が同定されはじめ、高脊椎動物を用いた研究が爆発的に展開した。現在、概日リズムを生み出すメカニズムとして『時計遺伝子の転写・翻訳に基づく負のフィードバックループモデル』が提唱されているが、このループが24時間という長い周期で安定に振動するメカニズムや未知の時計遺伝子の関与、また光による位相同調や周期の温度補償性の問題など、未解決の重要課題は多い。

私共は光入力系から発振系への連結点に注目して研究を進める過程で、ニワトリ松果体細胞のMAPキナーゼが光刺激依存的に脱リン酸化されて不活性化することを見出した。MAPキナーゼというリン酸化酵素に注目した理由は、この酵素が多くの細胞において刺激に応答してリン酸化されて活性化し、その結果、幅広いシグナル伝達系で中心的役割を果たすからである。ところが、松果体におけるMAPキナーゼは、光という細胞外シグナルによって脱リン酸化されて不活性化し、多くの細胞で見られる応答（リン酸化されて活性化）とは逆方向である点がおもしろい。また、この酵素の活性は明暗に応答した日周変動を示し、さらには恒暗条件においても夜に相当する時間帯に活性化するという概日リズムを示した。

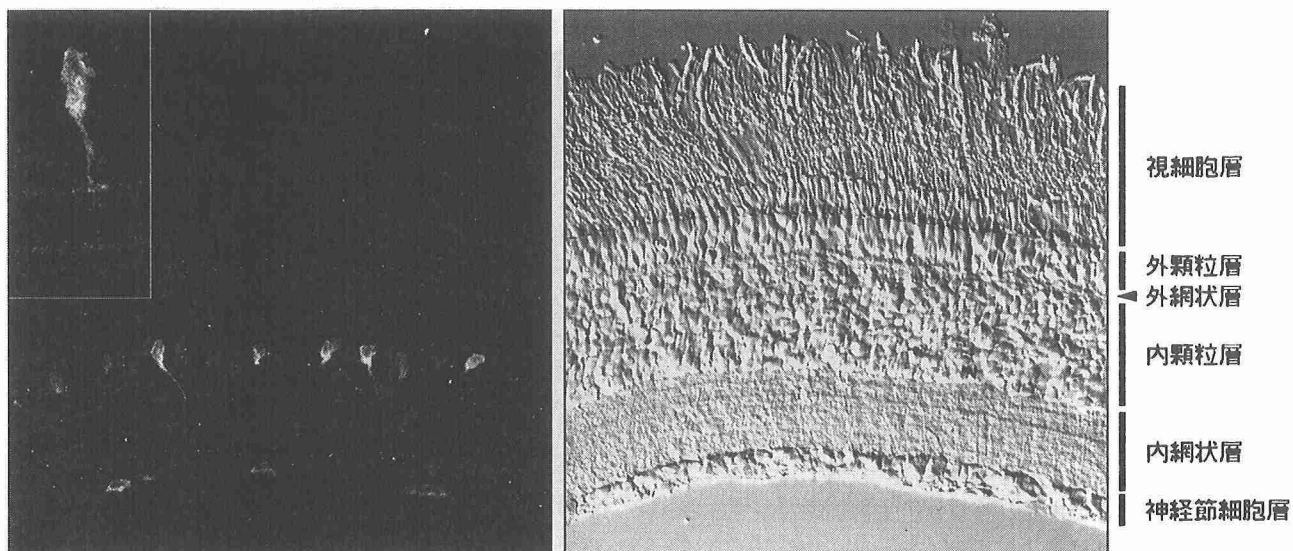
つまり(i) MAPキナーゼ活性は明暗情報のみならず時計発振系の制御を受けている。一方、この酵素の活性変動が発振系に及ぼす効果を調べるため、MAPキナーゼを活性化する酵素（MEK）に対する阻害剤を培養松果体に夜間に投与したところ、メラトニン合成を制御する時計の位相が8時間ほど後退した。つまり(ii) MAPキナーゼは発振系の位相をシフトし得る。お気づきのように、(i)と(ii)を併せると、時計発振系のコアフィードバックループに対してMAPキナーゼは更にフィードバック効果をもつことになり、サブループを形成する可能性が高い。MAPキナーゼの役割の一つとして、このようなサブループ形成によりコアループの振動を安定化することが考えられる。また、光入力系においても重要な役割を果たす可能性が高いが、コアループとの正確な位置関係については、まだ謎が多い。しかしMAPキナーゼの活性リズムは、ウシガエル網膜やマウス視交叉上核など時計組織に普遍的な現象であることから、動物の時計発振系において共通の役割を果たす可能性が示唆される。今後の重要課題は、MAPキナーゼの上流で活性リズムを支配している制御分子と下流の標的分子の同定であろう。ある種の時計分子の活性や安定性はリン酸化によって調節されることも知られているので、MAPキナーゼは直接的に時計分子をリン酸化して発振系の駆動に関与している可能性もある。

参考書：

『生物時計の分子生物学』（海老原 史樹 文・深田 吉孝 編）シュプリンガーフェアラーク東京

文 献：

- 1) Sanada *et al.*: Role of circadian activation of mitogen-activated protein kinase in chicken pineal clock oscillation. *J. Neurosci.*, 20, 986-991(2000).
- 2) Harada *et al.*: Circadian activation of bullfrog retinal mitogen-activated protein kinase associates with oscillator function. *J. Biol. Chem.*, 257, 37078-37085 (2000).



左：ウシガエル網膜切片における活性化型 MAP キナーゼ抗体の陽性像（文献 2 より改変）。夜の時間帯に活性化される MAP キナーゼは、内顆粒層に存在する三次ニューロンであるアマクリン細胞の一部に局在している。これらの細胞は網膜の時計細胞である可能性が考えられる。内挿図は陽性細胞の拡大像。

右：同一切片の微分干渉像。

細胞内共生細菌のゲノム

重 信 秀 治 (生物科学専攻)
shige@gsc.riken.go.jp

石 川 統 (生物科学専攻)
iskw@biol.s.u-tokyo.ac.jp

地球上には、温帯地域を中心に4,500種ほどのアブラムシ（アリマキ）が知られている。これらはほぼ例外なしに、菌細胞とよばれる特殊な細胞を数十個もち、それらの細胞質は共生細菌プフネラによって満たされている（写真）。アブラムシとプフネラの共生にはおよそ2億年の歴史があり、この間プフネラは一度も昆虫の体外に出ることなく、その世代を越えて連綿と菌細胞内に維持されてきた。この結果、アブラムシとプフネラの間には、生物界でもっとも緊密と位置づけられるほどの相互依存関係が成立している。プフネラを失ったアブラムシは子孫を残すことができず、逆に、菌細胞からとり出されたプフネラも増殖することはできない（文献1）。

このように緊密な共生のもつ分子生物学的背景を知る目的で、われわれは最近、理研 GSC の協力を得て、プフネラゲノムの解析を行った。これは細胞内共生細菌についての初めてのゲノム解析である（文献2）。プフネラは大腸菌に非常に近い細菌だが、ゲノムサイズは後者の約1/7しかない（文献3）。ゲノムサイズが小さいことは解析に有利だが、プフネラは大腸菌のように培養で増やすことはできない。このため、われわれは約2,000頭のアブラムシを解剖して菌細胞をとり出し、それからプフネラ細胞を採取し、そのゲノム DNA を精製した。プフネラが細胞内にゲノム DNA を平均100コピー以上もつ、変わった細菌でなければ、より多数の虫の解剖が必要であつたらう（文献4）。

解析の結果、プフネラゲノムは640,681塩基対 (bp) の環状二本鎖 DNA からなることが明らかになった。このゲノムサイズは、これまでに解析されたゲノムの中では細胞寄生細菌マイコプラズマのものに次いで小さい。プフネラゲノムの中には、583個のタンパク質をコードする遺伝子が含まれている。その内訳は、機能既知の遺伝子が500個、機能未知だが、これまでに他の生物でみつけていた遺伝子が80個である。これらのうちの569個までは大腸菌にホモログの知られている遺伝子であり、しかもそれらの大部分は大腸菌ホモログと構造がもっとも類似している。大腸菌が約7倍の数の遺伝子をもつことを考え併せると、これらの事実は、プフネラと大腸菌は比較的最近の祖先を共有し、プフネラはその祖先のもっていた遺伝子をほぼ一方的に失って現在に到ったことを強く示唆している。言い換えれば、2億年に及ぶアブラムシとの細胞内共生が、プフネラにこのような進化をもたらしたのだとも言える。

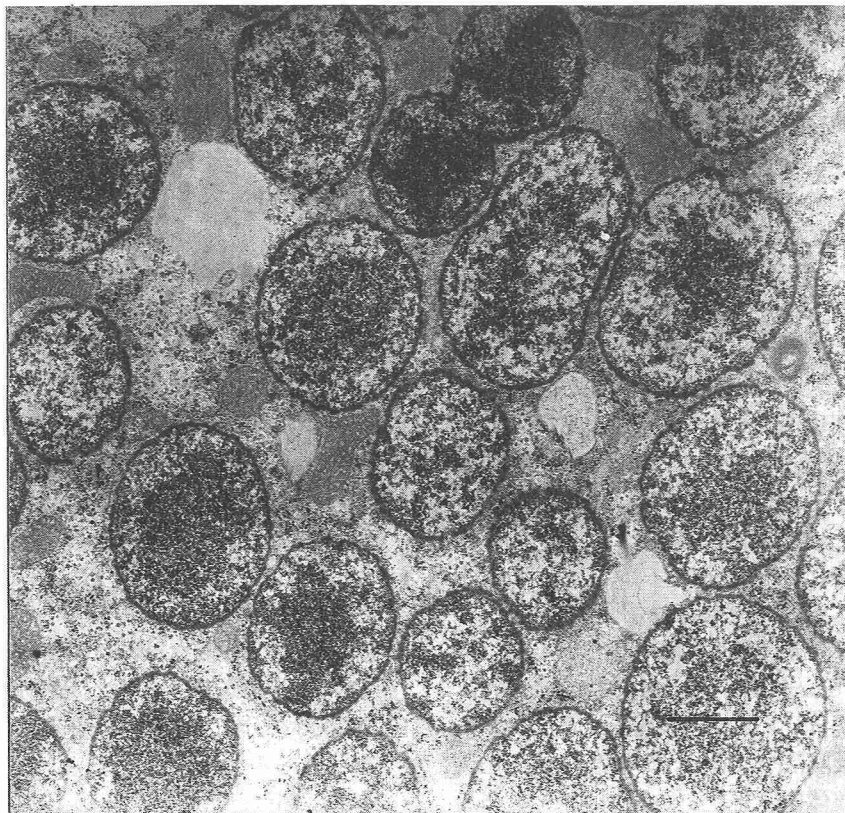
ゲノムサイズを著しく縮小させながら、プフネラはア

ミノ酸合成系、とくに宿主昆虫の合成できない必須アミノ酸合成系の遺伝子をほぼ完全に残している。同様にゲノムサイズの縮小しているマイコプラズマやリケッチアなどの細胞寄生細菌と、プフネラはこの点で著しい対照をなす。寄生細菌は必要なアミノ酸を自分では合成せず、宿主から横取りしているのに対して、プフネラは逆に必須アミノ酸を合成して、アブラムシに提供している強い証拠があり、遺伝子レパートリーにもそのことが明確に反映されている。その一方で、プフネラからは、細胞として本来必ずもっていなければならないはずの遺伝子が多数失われている。その一例はリン脂質合成系遺伝子である。細胞としてのアイデンティティーを保つために膜は不可欠の構造であり、それに必須の成分がリン脂質である。それにもかかわらず、プフネラはリン脂質合成系遺伝子を完全に失っている。

ヒトゲノムの場合を含め、ゲノム解析は生物の設計図を知る作業だと言われることが多い。しかし、プフネラの場合、その意味は少し違う。そこでは、不可欠でありながら捨て去られた遺伝子の働きが、どのような形で補われているかを知ることの方がむしろ重要である。それを知るとは、細胞内共生によってミトコンドリアや葉緑体を獲得した、真核細胞そのものの起源と進化の理解につながるからである（文献5）。この意味で、プフネラゲノム解析の完結は、いわゆる「ポストゲノム」とは別の意味で、新たな研究のスタートを意味している。

文献

1. 「アブラムシの生物学」 石川 統編、東京大学出版会（2000）。
2. S. Shigenobu, H. Watanabe, M. Hattori, Y. Sakaki and H. Ishikawa (2000) Genome sequence of the endocellular bacterial symbiont of aphids *Buchnera* sp. APS. Nature 407, 81-86.
3. H. Charles and H. Ishikawa (1999) Physical and genetic map of the genome of *Buchnera*, the primary endosymbiont of the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*. J. Mol. Evol. 48, 142-150.
4. K. Komaki and H. Ishikawa (1999) Intracellular bacterial symbionts of aphids possess many genomic copies per bacterium. J. Mol. Evol. 48, 717-722.
5. 石川 統、共に生きる細菌たちのゲノム（2000）科学70, 251-256.



写真説明：プフネラの電子顕微鏡写真（バーは1 μm を示す）。

解き明かされた大腸菌の呼吸の仕組み

茂 木 立 志 (生物科学専攻)

mogi@biol.s.u-tokyo.ac.jp

大腸菌は、現在では、DNA やタンパク質を簡便に増幅生産させるためのパイオキットのように広く用いられている。しかし、大腸菌が呼吸する仕組みが、共通の祖先に由来するミトコンドリアと異なることはあまり知られていない。教科書的な呼吸鎖電子伝達系と異なり、大腸菌ではチトクロム bc_1 複合体、チトクロム c 、チトクロム c 酸化酵素が失われており、NADH 脱水素酵素やコハク酸脱水素酵素が還元した細胞膜内のユビキノンは、チトクロム bo や bd と呼ばれるキノール酸化酵素が酸素分子で直接酸化し、解放された自由エネルギーで ATP 合成に用いられるプロトンの電気化学的勾配を形成する¹⁾。培養液から回収した大腸菌の菌体が酸素分圧が高い対数増殖期前期には赤く見え、一方、定常期には抹茶色なのは、それぞれチトクロム bo と bd が優先的に発現されているためである。ここでは、大腸菌の呼吸を特徴付けているキノール酸化酵素の中で、グラム陽性細菌のチトクロム c 酸化酵素に由来し、プロトンポンプとして働くチトクロム bo の作動機構を紹介する。

サブユニット I には、酸化還元金属中心として働く低スピンヘム b と高スピンヘム o -Cu_B 複核中心が存在する。これらの軸配位子（ヒスチジン残基）や周囲の分子環境は、電子スピン共鳴法や共鳴ラマン散乱法などを用いたアミノ酸置換変異体の研究から明らかになった（図 1、2）。一方、低親和性キノール酸化部位 Q_L は、系統的に合成したキノンアナログを用いた解析から基質認識機構が明らかにされ、阻害剤耐性変異のマッピングによってサブユニット II の C 端の親水性ドメインの膜側（ヘム b 側）に存在することが示された（図 1）。また、われわれが発見した高親和性基質結合部位 Q_H は、セミキノンアニオンラジカルを安定化することによって Q_L 部位とヘム b 間の電子移動を媒介する。この Q_H 部位は、可視吸収や共鳴ラマン散乱などによって推定されたようにサブユニット I のヘム b の近傍に存在することが（図 1）、最近、岩田らによる X 線結晶構造解析とアミノ酸置換変異体の研究で確認され、チトクロム bo の全ての酸化還元反応場と分子内電子伝達の全体像が明らかになった。

プロトンポンプを駆動する複核中心での酸素分子還元

過程は、フローフラッシュ法で還元型酵素と酸素分子との反応を開始することによって追跡することができる。また、部分反応は酸化型酵素と過酸化水素との反応としても解析することができる。キノール酸化酵素の酸素還元反応は、ウシ心筋チトクロム c 酸化酵素と同様に、オキシ中間体から不安定なペルオキシ中間体を経てパーフェリル中間体 → フェリル中間体の順に進行することが判った（図 3）。更に、オキシ中間体からパーフェリル中間体への遷移過程では、還元型ヘム o に結合した酸素分子の O-O 結合が、酸塩基触媒として働く近傍の Tyr288 からの電子移動を伴うプロトン供与によって解離され、パーフェリル中間体はチロシン中性ラジカルを伴うオキソフェリル型 (Fe^{IV}=O) であることが判った。Tyr288 の OH 基はヘム o の 2-ヒドロキシエチルフェルネシル側鎖の OH 基との水素結合によって（大腸菌でチトクロム bo のみが用いる）ヘム o を複核中心にターゲットイングさせ、また、Tyr288 は側鎖間で共有結合する His284 による Cu_B の配位や Cu_B から酸素分子への電子移動にも重要な役割を果たしている。

プロトン輸送に伴うタンパク動態については、フーリエ変換赤外分光法を用いた研究から、現在、酸化型から還元型への過程でヘリックス VI の His284-Glu286-Tyr288 領域が構造変化を起こすことが判った（図 2）。Glu286 と Tyr288 はそれぞれ D チャネルと K チャネルの末端に位置しており、この領域がスイッチドメインとして複核中心での酸化還元反応と共役したプロトン輸送に重要な役割を果たしているのではないかと考えている。今後、アミノ酸置換変異と安定同位体標識を武器に研究を進めることにより、イオンポンプ研究の最先端にあるバクテリオロドプシンの反応機構のレベルに到達できるものと期待している^{2, 3)}。

- 1) 茂木立志 (2000) 「生体膜のエネルギー装置」 pp.11-31、共立出版
- 2) 茂木立志 (1991) 「生体膜工学」 pp.179-221、丸善
- 3) 茂木立志・神取秀樹 (1999) 蛋白質核酸酵素 44, 51-56

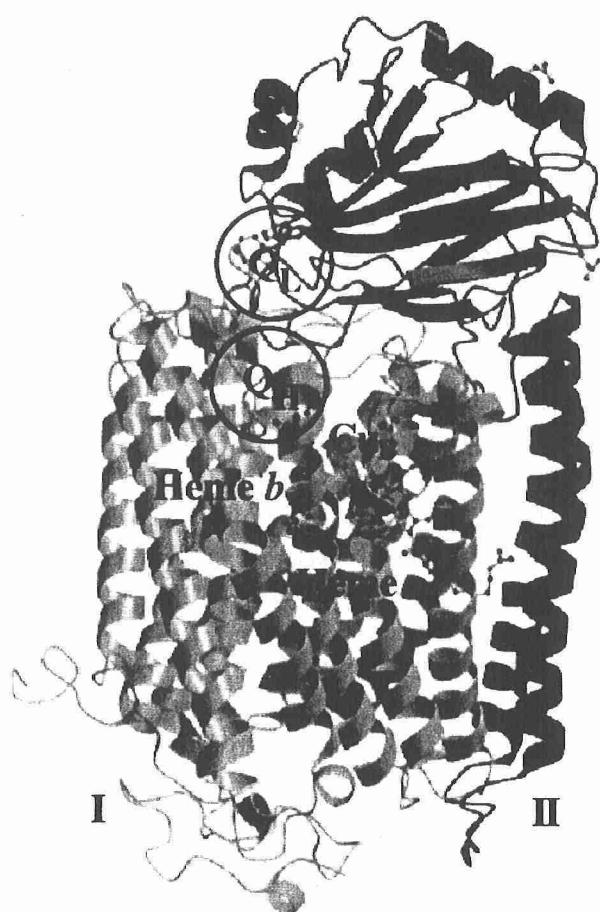


図1 立体構造モデルと酸化還元中心

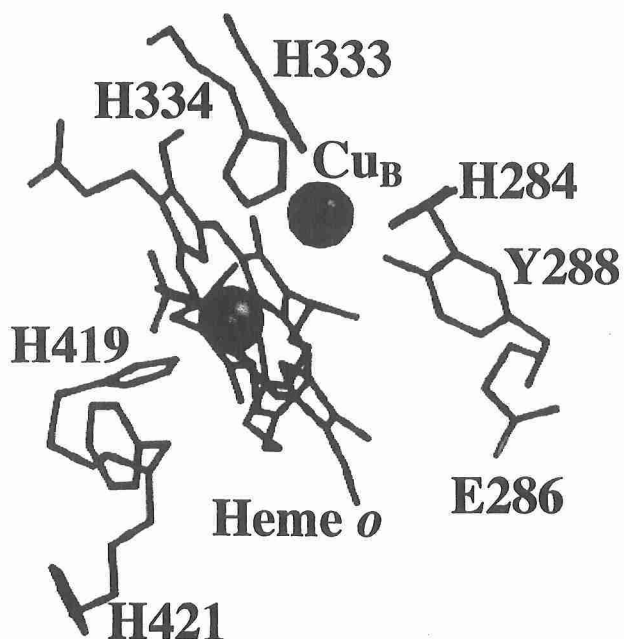
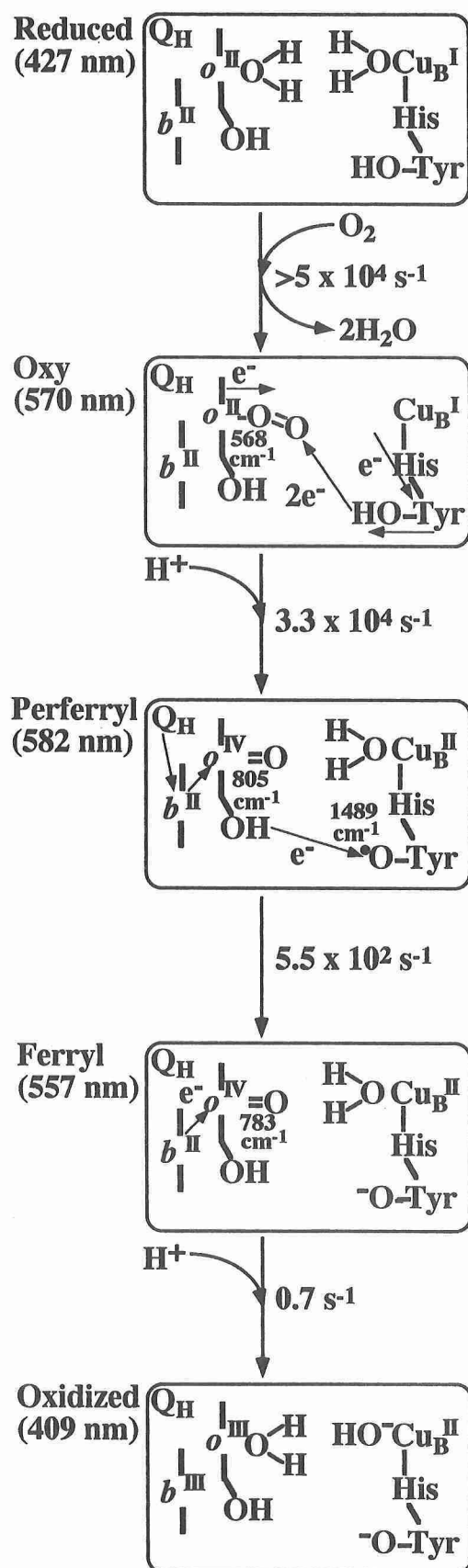
図2 ヘム *o*-Cu_B 複核中心の構造

図3 酸素分子還元機構

相模湾に生物保護区を作る

森 澤 正 昭 (臨海実験所)
direct@mmbs.s.u-tokyo.ac.jp

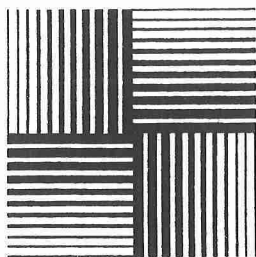
臨海実験所は三浦半島の西南端に位置している。半島の東側は東京湾、西側は相模湾に面し、晴れた日には富士・箱根・天城山等が一望される。この実験所周辺の海域及び相模湾の環境は岩礁帯、砂泥帯、藻場、砂浜、河口など多様性に富み、多くの潮間帯生物群集が見られる。また、間近に深海を控えるため圧倒的に多様な生物が見られる。このことが1886年(明治19年)に三崎の町にわが国最初の、又世界でも最も古い臨海実験所の1つが建てられた大きな理由である。

相模湾は東京、横浜など大都市に近接しており、特にレジャーの影響を受けやすく、現在ではかなり海浜の汚染が進み生物の死滅が次々に起こっている。このことは、臨海実験所の研究教育活動を著しく低下させる。一方、相模湾は産業の影響の強い東京湾に比べてその破壊の程度は深刻ではなく、又、湾口が広く海水の入れ替えも頻繁であり、更に良いことには相模湾は海辺からすぐに1,000m以上の深海となるので、かなり速く汚染から回復することが期待できる。従って、この海域に自然を残すモデル地区として「生物保護区」を作り同様の試みを全国に広げていけば、少なからず、そして少しずつ、自然と人の活動との調和を実現できるのではないかと考えられるのである。大きな目で見れば、相模湾は地球環境問題を止揚する格好なモデル地区となりうるのである。

森澤は平成4年、神奈川県に相模湾に生物保護区を制定するための提言を提出した。その後、神奈川県企画部政策調整課が森澤を含め新堀豊彦(神奈川県自然保護協会会長)、広崎芳次(元江ノ島水族館長)、横濱康継(元筑波大学臨海実験所長)、出口吉昭(日本大学/教授・日

本水産増殖学会長)の5名のメンバーからなる、相模湾環境保全利用懇談会を企画した。そこでは相模湾における生物保護区の制定をめざし、相模湾全域の過去の調査研究の収集と整理、調査対象7海域での詳細な資料の整理、県指定名勝・天然記念物である天神島周辺での小規模な現地調査の実施、保全手法導入モデル地域の選定などの活動を行っていた。そして昨年までに海洋生物保護区制度の導入策の試案を練るに至っていた。

今年度、動物分類学、生殖生物学、内分泌学、遺伝子科学、環境科学、海洋学研究者の協力のもとで相模湾の全体像を把握する目的で森澤が研究代表者になり地域(神奈川県)と連携して提出した文部省科学研究費補助金、地域連携推進経費『相模湾環境保全へ向けての生物保護区制定のための学術的研究』が採択された。具体的な研究内容は、相模湾の生物をなるべくたくさん採集し、記載し、それをデジタルカメラで記録し、インターネットで全ての人がある記録を共有する、貴重生物、絶滅危惧種などの遺伝子を解析しそれらを保存する、更に相模湾の海洋汚染の実態と海洋学的な相模湾の実体を明らかにするなどである。相模湾の全てを基礎学問の立場から明らかにして、それをもとに相模湾に生物保護区を制定する試みが始まったのである。現在、本プロジェクトでは神奈川県庁、神奈川県傘下の、センター、博物館、水産試験場及び、民間企業などの協力得て研究が進められており、相模湾における生物保護区制定の試みが飛躍的な速度で発展しつつある。相模湾における生物保護区の設立実現に向けての第一歩が踏み出されている。



地下水総合連続観測（ECD）システムによる地殻化学観測

角 森 史 昭 (地殻化学実験施設)
fumi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

五十嵐 丈 二 (地殻化学実験施設)
iga@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

2000年は3月31日からの有珠山の噴火、6月30日からの雄山（三宅島）の噴火、10月6日の鳥取県西部地震（M7.3）と、立て続けに災害がおきました。災害に遭われた方には心からのお見舞いを申し上げます。「災害は忘れたころにやってくる」といいますが、みなさんの災害に対する備えは十分でしょうか？日ごろから意識していれば、何もしていないよりずっと的確に行動できると思います。

災害に対する備えは個人レベルだけでなく、さまざまなレベルで行われてはじめて十全といえるのではないのでしょうか。私たちの実験施設では、1977以来、福島県東部地方、南関東地方、東海地方に合計15本の地下水観測用井戸を展開し、とくに、地下水に現れる地震発生の先行現象を理解し、地震予測につなげるための研究を行っています。その結果、地震に先行するいくつかの現象を見出しましたが、予測するまでには至っていません。なぜなら、地下水の変動と地震発生のメカニズムの関係がまだよくわかっていないからです。

地下水に現れる地震の先行現象としては、ラドンガスの濃度上昇、塩化物イオン濃度の増加、水位・水温の急激な変化、などが見出されています。しかし、これらの指標だけでは地震発生のメカニズムとの関係を議論することが困難であることがわかってきたのです。われわれ人間の健康診断では、体温や脈拍だけでなく血液中の成分やX線による体の内部の観察など、さまざまな角度から見て総合的に判断します。これと同じように、地球内部で起きている現象を理解しようとすれば、もっと地球内部のことを教えてくれる指標の測定を行わなければな

りません。そこで、これまでの観測項目に加え、地下水に溶け込んでいるガスの組成を調べることにしました。

地下水に溶け込んでいるガスは、中空糸膜を束ねた気体交換モジュールによって地下水から抽出されます。この中空糸膜のガス抽出性能が一定となる条件のもとでは、抽出ガスの組成は地下水中のガス組成と中空糸膜のガス分別特性によって決まります。ガス組成の計測には四重極質量分析計を用います。この装置では、同時に12種類の質量数を分析することが可能で、現在、 H_2 、 He 、 CH_4 、 H_2O 、 N_2 、 O_2 、 ^{36}Ar 、 ^{40}Ar 、 CO_2 、 Kr に注目して計測しています。これらのガス組成は地殻変動に敏感に反応し、地震に先行して変化すると期待されています。

運用を開始した地下水総合連続観測（ECD）システムでは、各項目の観測にはコンピュータで制御可能な装置を使っています。そのため、各観測所にローカルネットワークを作り、それらをインターネットを通じて接続することができるようになっています。近いうちに、観測データをリアルタイムでインターネット上に公開していこうと考えています。

地下水に溶けているガス組成の連続観測と水位や水温などの観測とを併せた、地下水の総合的な連続観測は、これまで行われたことがありませんでした。このような発想は、地球内部のことを「化学」の目で見ようとする姿勢から生まれてきたといえます。今後は、地下水溶存ガスの組成変動と地震の発生メカニズムの関係に関する議論を行い、将来的には地震の発生予測につなげたいと考えています。

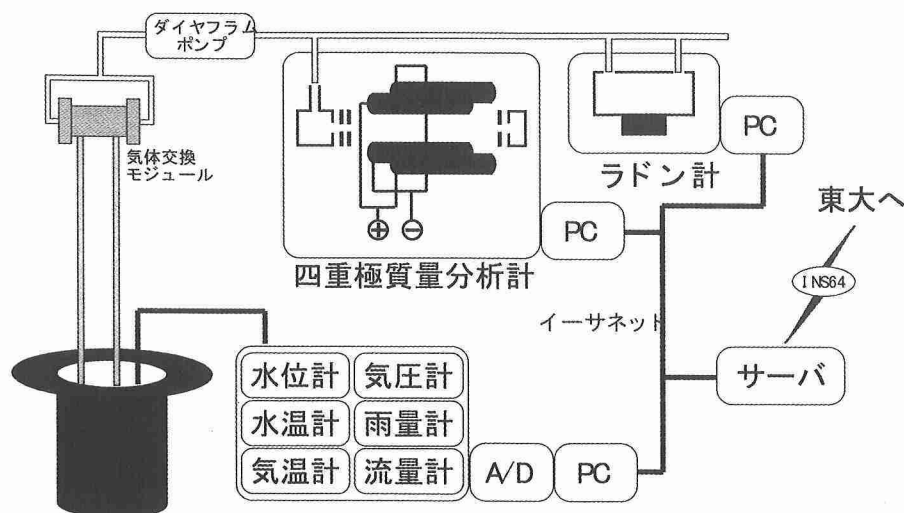


図 地下水総合連続観測（ECD）システム

軟X線ビームラインの建設： 構造、電子状態、そして磁性の探求

雨 宮 健 太 (スペクトル化学研究センター)
amemiya@chem.s.u-tokyo.ac.jp

スペクトル化学研究センターでは、高エネルギー加速器研究機構（高エ研）・放射光研究施設において、高エ研の協力のもとで新しい軟X線ビームライン（BL-7A）を建設してきた。今秋から本格的な立ち上げを開始したので、その状況と将来計画を紹介する。

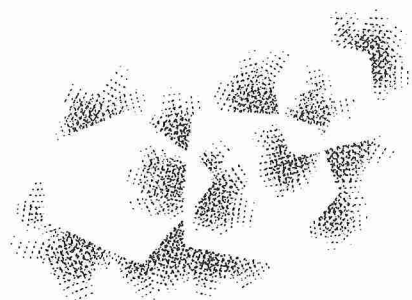
図1にビームラインの概略図を、図2にその中心となる部分の写真を示す。このラインは100eV から1,500eV の軟X線（炭素、酸素などのK吸収端、および3d遷移金属のL吸収端が含まれる）を供給することを目的とし、そのための分光器として不等刻線間隔回折格子（刻線密度が位置によって徐々に変わる回折格子）を用いた方式を採用した。電子蓄積リングから得られる白色放射光は2つの円筒鏡（M0、M1）によって入射スリット（S1）に集光され、球面鏡（M2）と不等刻線間隔回折格子（VLSG）および出射スリット（S2）からなる分光器によって単色化される。S2を通った単色光はトロイダル鏡（Mf）によって試料位置に集光される。またMcは光のエネルギーによる反射率の違いを利用して高次回折光を取り除くための2枚組ミラーシステムである。試料位置において得られる単色光の強度は、分解能 $E/\Delta E=10000$ において 10^9 photons/s、1000では 10^{11} photons/s を予定している。

今年の10月にはじめてビームラインに放射光を導入し、10月末でおおまかな調整を終えた。図3は得られる単色光の光強度の分布であるが、2枚の回折格子（1mmあたりの刻線密度 $N=300$ l/mm および 650 l/mm）を使い分けることで、100eV から1500eV 以上までの軟X線が得られることがわかる。今後もう一枚回折格子を組み込むことになっており、さらに広い範囲の軟X線が利用できるようになる予定である。なお、300eV と550eV 付近に見られる強度の落ち込みはそれぞれ炭素、酸素が

ミラーに付着してしまったことによる。このように軟X線のビームラインではミラーの汚染に最大限注意する必要がある、そのために常にビームライン全体を超高真空に保っている。

ビームライン完成後は主に固体表面を対象に、直線偏光を用いたX線吸収微細構造（XAFS）とX線光電子分光（XPS）、および円偏光を用いたX線磁気円二色性（XMCD）測定を行う。これらの手法はいずれもX線の内殻吸収を利用するため、元素選択性をもち、また極めて感度が高いという特徴がある。そこでXAFSとXPSを用いれば、固体表面に吸着した1層以下の分子について、その配向や吸着サイトといった局所構造、および電子状態を調べることが出来る。一方XMCDは注目する元素のスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントを分離して定量的に決定できるため、磁性研究において極めて強力な手法である。これを用いて金属超薄膜（1層前後）の磁性を研究するとともに、最近注目されつつある、分子吸着の薄膜磁性への影響、さらには吸着分子の磁性についての研究を行う予定である。さらに、新しい実験手法として“表面分散型XAFS法”の開発を予定している。従来のXAFS測定は単色光のエネルギーを変えながら測定を行っていたが、この新手法は試料位置において場所によってエネルギーが少しずつ異なる光を当てることによって吸収スペクトルを一度に得るもので、2桁程度の時間短縮が可能である。これを用いて表面における化学反応の追跡を行いたい。

なお、このビームラインは全国共同利用にも供されることになっており、もちろん理学部・理学系研究科の方々も利用することが出来る。詳細については私までご連絡いただくか、放射光研究施設のホームページ（<http://pfwww.kek.jp>）等を参照されたい。



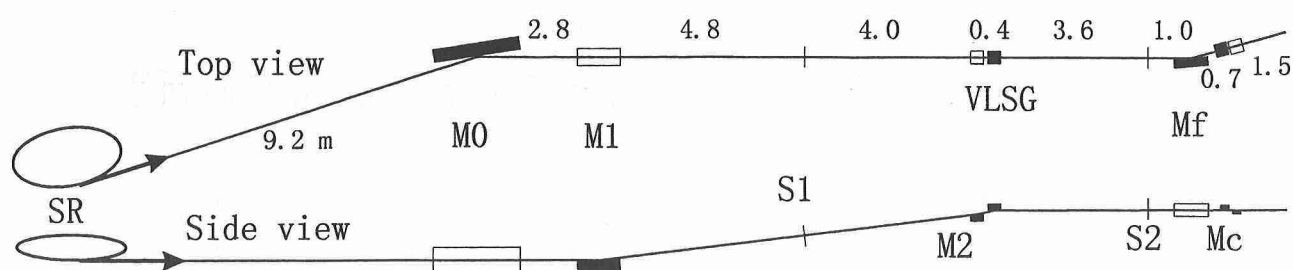


図1 軟X線ビームライン BL-7A の概略図。SR: 電子蓄積リング、M0, M1: 円筒鏡、S1: 入射スリット、M2: 球面鏡、VLSG: 不等刻線間隔回折格子、S2: 出射スリット、Mf: 後置集光鏡 (トロイダル)、Mc: 高次光除去ミラーシステム

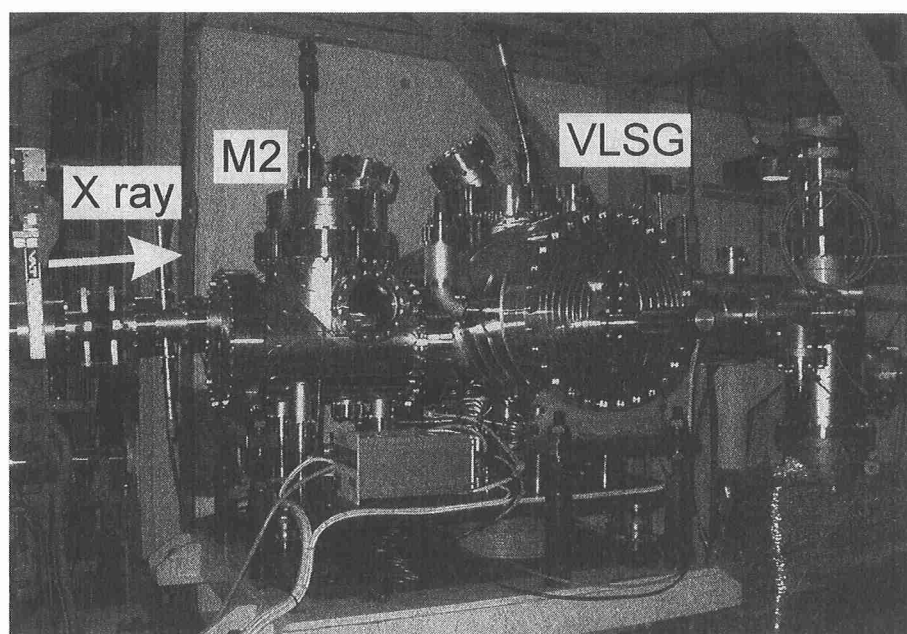


図2 球面鏡 (M2) と回折格子 (VLSG) 部分の外観。ステンレス製の超高真空チェンバー内に M2 と VLSG が設置されている。

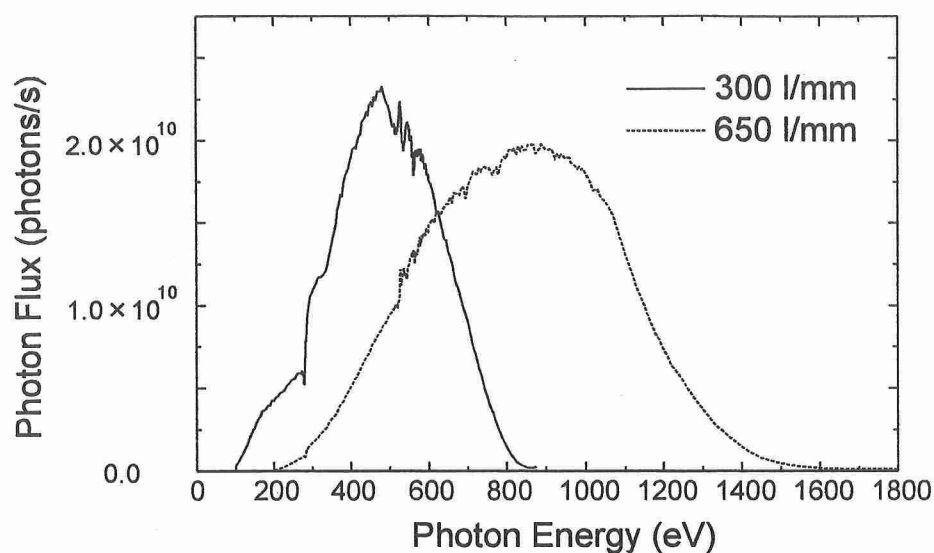


図3 ビームラインから得られる単色光の強度分布。刻線密度の異なる2枚の回折格子を真空中で切り替えることで、広いエネルギー範囲の軟X線を得ることが出来る。

MAGNUM プロジェクト

活動銀河核の多波長モニター観測による距離決定の新技术法

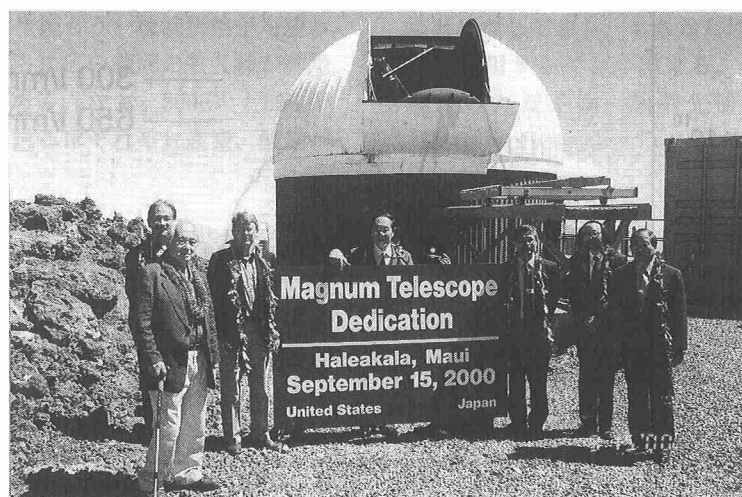
吉 井 讓 (天文学教育研究センター)
yoshii@mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

“宇宙膨張が無限に続くか、いずれ収縮に転じるか”は現代天文学の重要課題である。この問いに答えるには、膨張宇宙モデルに含まれる基本パラメータ（ハッブル定数、密度パラメータ、宇宙項）を決めることが必要である。赤方偏移が大きくて、我々から遠く離れた天体までの距離を直接測定すれば、測定距離と膨張宇宙モデルに基づいた距離とを比較して、宇宙パラメータを決めることができる。我々は、クエーサーなど中心核活動を示す遠方銀河の紫外線や可視光線と近赤外線の変光データを取得し、新しい手法で距離測定を目指す MAGNUM プロジェクトを推進している。MAGNUM とは Multi-color Active Galactic NUclei Monitoring の頭文字をとったものであり、活動銀河核の多波長モニター観測というプロジェクトの観測目的を表現している。

活動銀河核の近赤外域の放射スペクトルは約1500 Kの黒体放射を示し、これは活動銀河核に普遍的な性質であると考えられている。この熱的成分は中心核が放射する紫外線や可視光によって温められた中心核周囲に存在する高温のダスト層からのものである（図1）。黒体放射の温度は高温ダストの主成分グラファイトの融解温度に対応している。このダストは中心核からの放射と熱平衡にあると考えられ、またダストの融解温度は物性により決まることから、中心核から高温ダスト層までの距離は中心核の絶対光度と一意的な関係をもつと期待される。一方、中心核光度が時間的に変動すれば、紫外線や可視光が高

温ダスト層にまで到達する時間の遅れを伴って近赤外光度が変動する。これをダスト反響と呼ぶ。活動銀河核の数少ない遅延時間測定データと、適当な宇宙モデルを仮定して赤方偏移と見かけの明るさから推定した絶対光度をプロットすると、遅延時間と絶対光度との間に良い相関が存在することが分かる（図2）。したがって、活動銀河を紫外や可視と近赤外域でモニター観測し、その遅延時間を測定すれば、中心核から高温ダスト層までの距離が求まり、さらに中心核の絶対光度が求まる。この絶対光度と見かけの光度を比較すると、その活動銀河までの光度距離が求まり、ついには宇宙膨張の未来を決定できる。

MAGNUM プロジェクトは、観測の適地であるハワイ州マウイ島ハレアカラ山頂（標高3055m）にモニター観測専用の口径2 m望遠鏡を設置し、9月15日に現地で行われ、完成式を迎え、望遠鏡稼働を開始した。この口径2 m望遠鏡は、モニター観測専用望遠鏡としては世界最大級であり、ハワイ大学との学術協力で実現に至った。MAGNUM 望遠鏡は赤外可視撮像測光器を装着し、この測光器には、256×256のInSb赤外線アレイ検出器と1024×1024の可視用CCDが搭載されている。モニター観測そのものは、単純な観測を長期間継続するので、無人遠隔自動観測が基本である。現在、望遠鏡やカメラの調整および試験観測を続ける一方で、観測の自動化を進めながら徐々に活動銀河核をターゲットとした本観測へ移行しつつある。



ハレアカラ山頂に於て、MAGNUM 望遠鏡完成式当日の記念写真。左から、Alan H. Teramura (Senior Vice President for Research, University of Hawaii)、小田 稔 (東京情報大学学長)、Robert A. McLaren (Interim Director, Institute for Astronomy, University of Hawaii)、蓮實 重彦 (東京大学総長)、佐藤 勝彦 (ビッグバン宇宙国際研究センター長)、吉井 讓 (天文学教育研究センター長、MAGNUM プロジェクト責任者)、小間 篤 (理学系研究科長) の各氏。

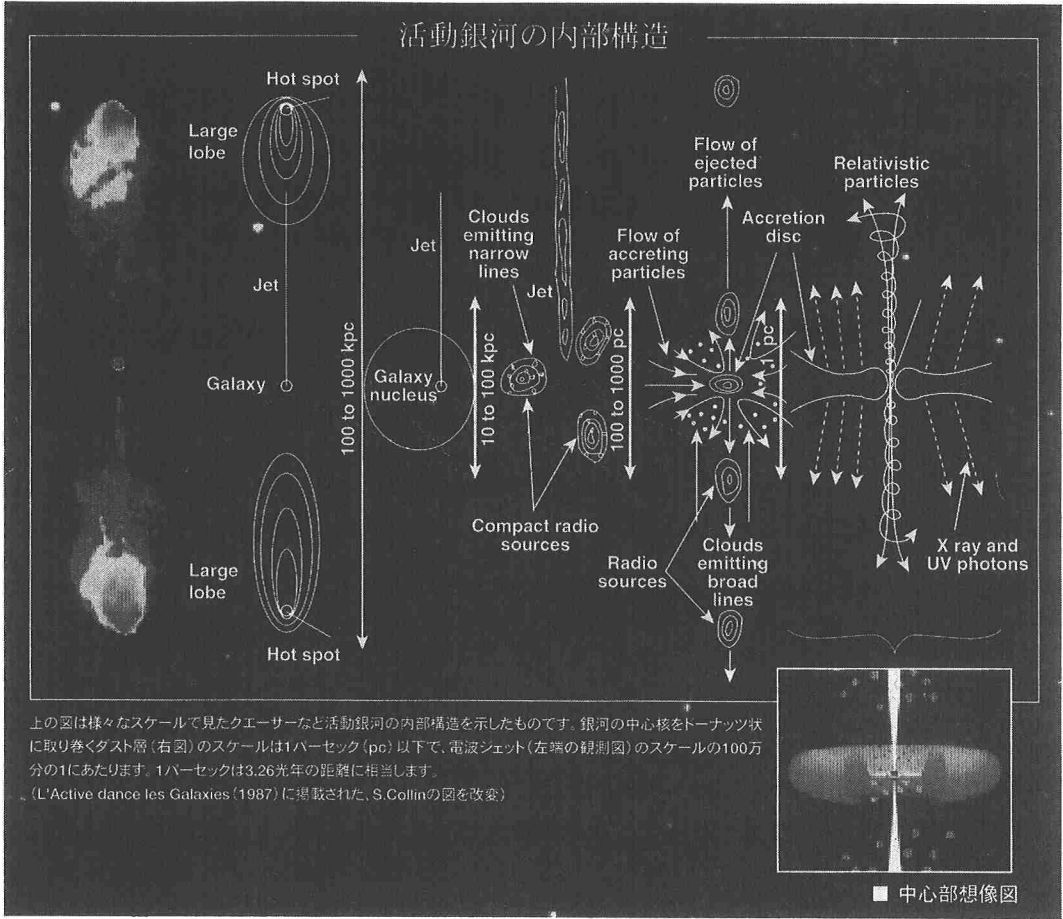


図 1 : 活動銀河構造の概念図

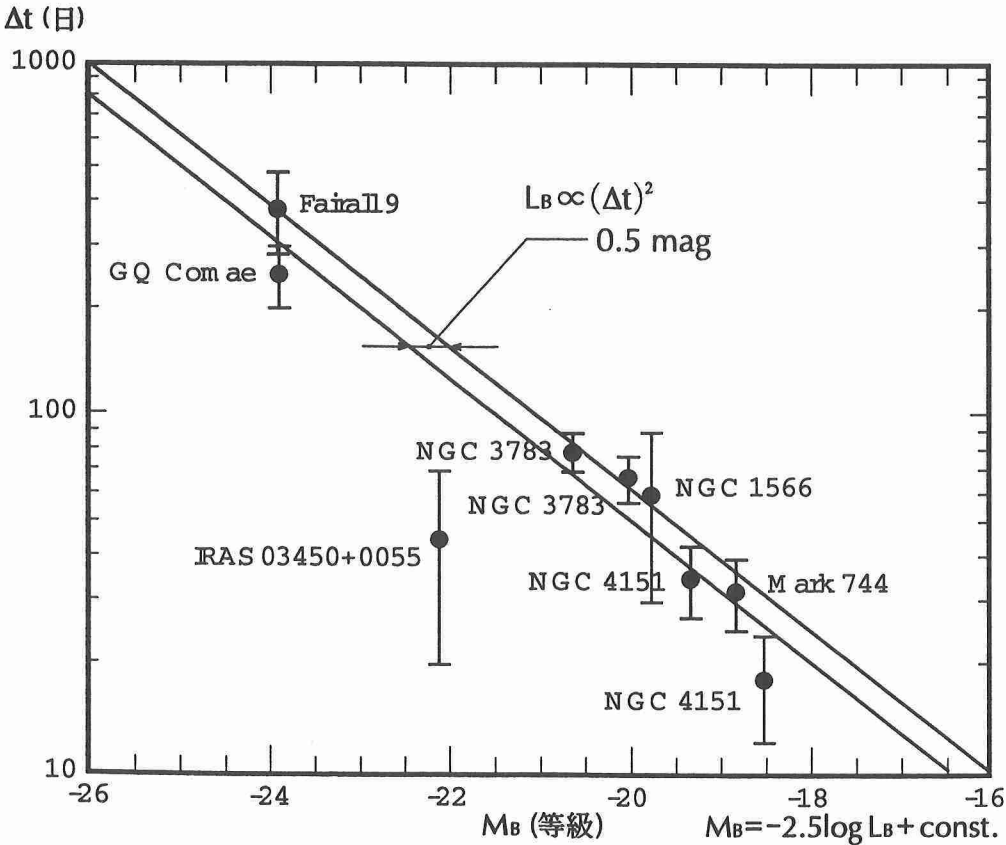


図 2 : 遅延時間と絶対光度の相関図