

メダカの脳の神経回路を丸ごと解析

岡 良隆 (生物科学専攻 教授)

脊椎動物の脳内には生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) を産生するニューロンが存在し、GnRH を脳下垂体に周期的に放出することにより排卵その他の生殖現象を動物固有の周期で制御すると考えられているが、その神経機構については未知であった。私たちはこの GnRH 産生ニューロンだけを GFP 蛍光タンパク質で光らせたトランスジェニックメダカ (遺伝子改変メダカ) を用いてこのニューロンからの電気活動記録を行い、排卵周期の基礎となる GnRH ニューロンの周期的な自発活動と脳下垂体ホルモン遺伝子転写活性の時間的関係を脊椎動物で初めて明らかにした。

自然界の多くの動物は、それぞれの生育環境に適した季節に繁殖を行う。日長や気温といった季節を告げる情報は、感覚系で受容されたあと脳内で処理されて、体の中の神経系や内分泌系に変化をもたらして生理状態を調節する。脳内の視床下部に存在する生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) を産生するニューロンは中枢神経系による生殖制御において重要な役割を担っていると考えられており、統合された外界の情報は何らかの形でこの GnRH ニューロンに入力すると考えられている。GnRH ニューロンから放出された GnRH が脳下垂体に作用し、脳下垂体から生殖腺刺激ホルモン (LH と FSH の 2 種類) を放出させて生殖腺の調節をおこなっている。動物の雌では、性成熟して生殖可能になった時期には、脳下垂体から LH が周期的かつ一過的に大量放出され (LH サージ)、それが引き金となって動物固有の周期で排卵が繰り返される。すなわち、生殖周期中に周期的なホルモン量の変動が起きている。しかし、自然の排卵周期に関連した GnRH ニューロンの電気活動や、それと脳下垂体ホルモン放出の周期性との関係を直接的に証明することは長い間不可能であった。

今回私たちは、GnRH 産生ニューロンだけを GFP 蛍光タンパク質 (下村博士のノーベル賞受賞で有名になった、オワンク

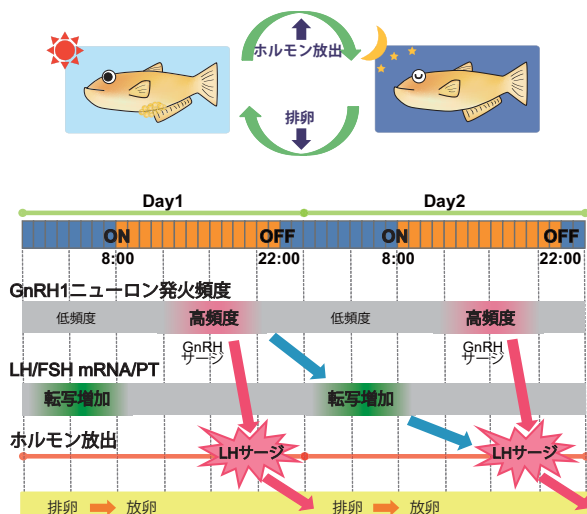
ラゲがもつ蛍光タンパク質。この遺伝子を特定の遺伝子の中に人工的に組み込むことにより、特定の遺伝子を発現する細胞だけに GFP を作らせて蛍光標識することができる) で光らせたトランスジェニックメダカを用いて研究をおこなった。メダカの脳はたいへん小さく透明度が高いため、神経回路を保ったまま丸ごと解析に用いることができる。また、生殖可能な時期のメダカは毎日産卵を繰り返し 1 日という短い生殖周期を示すため、生殖周期に応じた神経活動変化などの解析が容易である。

私たちは、メダカでは腹側の視索前野 (POA) に存在する GnRH ニューロンが脳下垂体の調節にとくに重要であることをまず見出し、このニューロン群に着目して実験をおこなった。メダカの GnRH ニューロンの発火活動は午前中に低く保たれており、夕方から夜にかけて発火頻度が上昇するという規則的な日内変動を示すことがわかった。次に脳下垂体の生殖腺刺激ホルモンの遺伝子発現を調べたところ、遺伝子発現量は GnRH ニューロンの電気活動のピークから一定の遅れをもって規則的な日内変動を示すことが明らかになった。

これらの結果より、図で示すような過程が想定された。メダカでは何らかの神経入力を受けて GnRH ニューロンの発火活動が 1 日の夕方の時間帯に高まり、これにより GnRH ニューロンから多量の GnRH が放出されて (GnRH サージ) 脳下垂体に作用し、LH サージを引き起こす。これが排卵の引き金となる。いっぽうで、GnRH は数時間後に LH の遺伝子発現を高め、翌日の LH サージに備えた脳下垂体細胞の LH 合成を促す、という 2 重の作用をもつことが強く示唆される。

これまでの生殖調節機構の解析には多くがげっ歯類を用いておこなわれてきた。しかし、メダカの脳はマウスなどに比べてたいへん小さく透明度が高く、GFP で標識した GnRH ニューロンを含む神経回路を保ったままディッシュに取りだして丸ごと解析に用いることができるという際だった特徴をもっており、今後、生殖の中枢制御メカニズムを探索する実験系として有効活用されることが期待できる。本研究は、生物科学専攻の荻郷友美 (博士課程 2 年) らによりおこなわれ、論文は T. Karigo *et al.*, *Endocrinology* 153, 3394 (2012) に掲載された。

(2012 年 5 月 25 日プレスリリース)



■ メダカにおける排卵調節の脳内メカニズムを示す模式図

南極最大の大型大気レーダーが本格観測開始

佐藤 薫（地球惑星科学専攻 教授）
堤 雅基（国立極地研究所 准教授），佐藤 亨（京都大学情報学研究科 教授）

南極昭和基地大型大気レーダー（PANSY レーダー）（PANSY：Program of the Antarctic Syowa MST/IS radar）は、2012 年 5 月初めに、第 53 次南極地域観測隊によって、全体の ¼ にあたるシステムの調整が終了し、デービス基地（豪）の中型レーダーを超えて、南極最大の大型大気レーダーとしての本格観測を開始した。これによってブリザードをもたらす極域低気圧の物理的解明や、オゾンホールにも関係する対流圏界面の時間変動などの研究が可能となる。現在、きわめて良好なデータが得られており、ダイナミックな対流圏と成層圏の大気交換の様子がわかってきた。

PANSY レーダーは、第 52 次隊によって 2011 年 2 月に南極昭和基地に設置された世界初の南極大型大気レーダーである。同年 3 月に部分稼働による初期観測に成功したが、その後の記録的な大雪によってアンテナエリアにも被害が出たため、観測を中断していた。さらに、2011 年 11 月末に出発した第 53 次隊では、南極観測船「しらせ」の接岸断念という 18 年ぶりの非常事態となり、輸送が大幅に制限された。PANSY 計画も、2012 年に予定していた世界初の中間圏乱流観測を断念し、予定の ½ システム稼働から ¼ システム稼働へと目標を変更せざるを得なくなった。

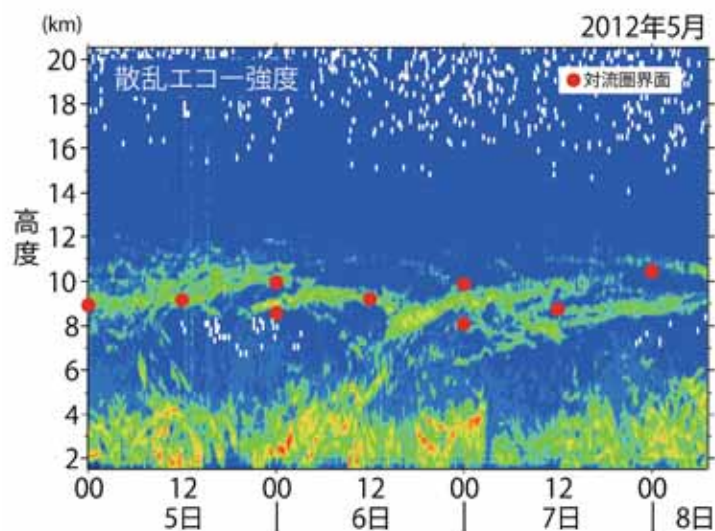
しかし、PANSY 計画は「越冬成立」（越冬に必要な燃料や食料、観測機材などの搬入が達成されること）に次ぐ優先順位とされていたこともあり、積雪の少ない場所へのアンテナ移設作業に必要な機材、また、第 54 次隊でのフルシステム稼働の目標につなげられる最低限の機器の搬入を達成できた。2012 年 1 月には、除雪後、部分システムにより高度 85 km 付近の極中間圏雲とよばれる極域固有の雲に関連する強いエコーの観測にも成

功した。予測のつかない「しらせ」から基地への輸送の遅れをにらみながらの難しいオペレーションとなったが、2012 年 2 月中旬までにアンテナ移設作業を完遂できた。そして、越冬隊員により 4 月末に ¼ のシステム調整が終了し、対流圏・下部成層圏の本格観測を開始した。現在、数回のブリザードに見舞われているが、アンテナ移設先の積雪は少なく移設作戦は成功したと思われる。

図は 5 月初旬に、約 1 分間隔で観測された乱流散乱エコーの時間高度断面図である。気象庁の 1 日 2 回の気球観測による対流圏界面の高度も○で示している。対流圏界面付近で散乱エコーが強くなっており、それが時間的にダイナミックに変動している様子が見える。これは、オゾンや水蒸気の量が大きく異なる対流圏と成層圏の大気交換が盛んであることを示唆している。今後、大気レーダーでのみ可能な鉛直風の推定などを行い、物質交換の定量的解明を進めるとともに、ブリザードをもたらす極域低気圧や、オゾンホールに関連する極成層圏雲などの極域固有の現象の研究に取り組む予定である。

2012 年 11 月出発予定の第 54 次隊では、海氷の状況などが平年どおりであれば、高さ 500 km までの対流圏・成層圏・中間圏・熱圏／電離圏の同時観測が可能な PANSY レーダーのフルシステムを稼働させる予定である。これによって、環境が苛酷であるため他の緯度帯に比べて遅れがちであった南極大気の観測的研究に大きな進歩がもたらされると共に、地球気候における極域の位置づけもより明確になり、気候の将来予測の精度向上に結びついていくことになるだろう。

（2012 年 6 月 18 日プレスリリース）



2012 年 5 月 5～8 日に鉛直ビームにより観測された大気散乱エコー強度の時間高度断面図

超新星爆発の瞬間の検出へ向けて

諸隈 智貴（天文学専攻 助教）

星の最期である超新星爆発には未解明な点が多く、爆発前の星の姿も謎のひとつである。これを明らかにするため私たちは、ショックブレイクアウト現象 — 超新星爆発の瞬間、衝撃波が星内部から現れる際の急激な増光 — に注目した。木曾シュミット望遠鏡新超広視野カメラ KWFC を用い、これを検出することに特化した世界初の観測プロジェクト KISS を開始、すでに 3 つの超新星を順調に発見した。今後 3 年の観測で、さらに計 100 個以上の超新星の発見、うち数個からはショックブレイクアウト現象が検出できると期待している。

超新星は、太陽の 8 倍を超える質量をもつ重い星や、連星系の一部が、その一生の最期に起こす大爆発である。宇宙に存在する、水素・ヘリウム以外の元素の多くがこの爆発の際に生成されることから、宇宙全体の進化を担ってきた重要な現象である。2011 年ノーベル物理学賞受賞理由となった宇宙の加速膨張が（Ia 型という種類の）超新星の観測によって 1990 年代後半に示された。それ以降、大規模な観測が数多く行われ、理論研究も大きな進展を見せているが、爆発直前の星の姿や爆発の詳細なメカニズムは未解明のままである。この謎への観測的アプローチのひとつに、爆発の“瞬間”の光の検出があげられる。超新星爆発の際に星内部で発生した衝撃波が外部へ伝播し、元の爆発前の星の光球面を衝撃波が通過する。その際に、星が数千度から数十万度へ急激に温度を上げ、青く明るく輝くことが理論的に予言されてきた。この急激な増光（ショックブレイ

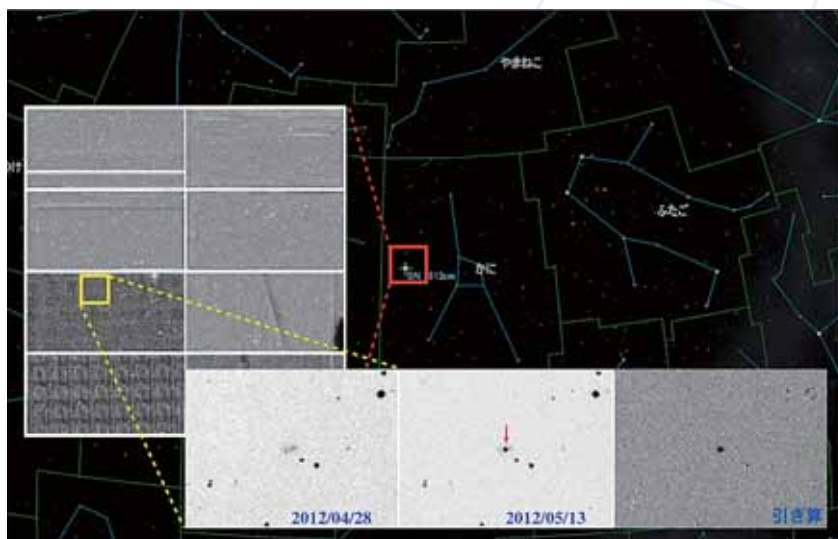
クアウト現象）を検出できれば、爆発前の星の大きさなどへの制限が容易となる。

しかし、典型的な銀河において約 100 年に 1 回と超新星自体が稀な現象である上に、ショックブレイクアウトの継続時間も数時間程度と短いため、これまでわずか 3 例の偶然の観測（X 線で 1 例、紫外線で 2 例）しか報告されていない。

そこで、私たちは、天文学教育研究センター木曾観測所の 105 cm 木曾シュミット望遠鏡と、新しい超広視野 CCD カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC) を用いて、ショックブレイクアウト現象の検出に最適化した世界初の観測プロジェクト Kiso Supernova Survey (KISS) を開始した。KWFC は、800 万画素の CCD を 8 枚用いて、2 度角 × 2 度角（満月 16 個分）もの領域を一度に撮像でき、超新星のような稀な現象の発見観測には最適である。空の同じ領域を 1 時間おきという高い頻

度で観測することにより、爆発の瞬間をとらえようとしている。これまで、赤方偏移 0.02 - 0.04（距離 3 - 5 億光年）の 3 つの超新星爆発（爆発後数日経過）を順調に発見し、国際天文学連合による SN 2012cm, SN 2012cq, SN 2012ct との命名を受けている。今後、年間 100 晩の観測を 3 年間続け、計 100 個以上の超新星を発見し、その中の数個に対して、爆発の瞬間をとらえることができる見通しである。上記 3 つの超新星発見の報告は、T. Morokuma *et al.*, *Central Bureau for Astronomical Telegrams*, 3126 (2012) などに掲載された。

（2012 年 6 月 21 日プレスリリース）



最初に発見した超新星 SN 2012cm（挿入横並び中央パネルの赤矢印）。かに座の方向の探査領域において、2012 年 5 月 13 日の画像に超新星が写っており、直前の 2012 年 4 月 28 日の取得画像には写っていないことが、画像の引き算により明らかになった（4 月 28 日から 5 月 13 日の間は観測が行われなかった）。その後、広島大学東広島天文台かなた望遠鏡 1 露出型偏光撮像器 HOWPol による分光観測で最大光度前の Ia 型超新星であることが判明した。

ヒッグス粒子(と思われる)新粒子発見

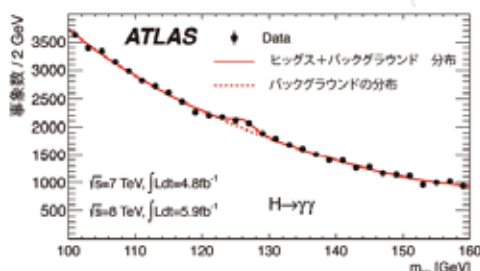
浅井 祥仁(物理学専攻 准教授)

「私が生きているうちに見つかるとは思わなかった」(ペーター・ヒッグス博士：2012年7月4日発見会にて)。あの熱気に満ちた会見をご記憶の方も多と思われる。この言葉が物語るように素粒子研究者がこの40年以上の長きにわたって探していた「ヒッグス粒子」と思われる新粒子がLHC実験でついに発見された。ヒッグス粒子発見の意義は、単に17番目の素粒子発見にとどまらず、素粒子の「質量の起源」の解明や、われわれを取り囲んでいる「真空」が対称性の破れた特殊な状態にあることを示すものであり、素粒子研究の新しい幕開けを告げる。

ヒッグス場は真空にあまねく潜んでいて、その中を運動する素粒子と反応することにより、素粒子に質量を与えていると思われる(「理学のキーワード」2007年3月号)。この「あまねく」真空にいる奴を取り出すことがなかなか難しい。そこで世界中の研究者が協力し、ジュネーブ郊外の地下100mに円周27kmの巨大な加速器LHC(Large Hadron Collider)を建設した。この装置で陽子を高いエネルギーまで加速して正面衝突(重心系エネルギー8TeV)させ、高いエネルギー状態を一時的につくり出し、ヒッグス粒子を真空から取り出す。2012年6月までに陽子と陽子を約1100兆回衝突させた。

ヒッグス粒子はこの衝突の中でおおよそ10万回生成したと考えられるが、ヒッグス粒子は素粒子とよく反応するため、生成されたとしても、すぐ(約 10^{-21} 秒)に二つの粒子対に崩壊する。壊れた先の素粒子を精密に観測し、ヒッグス粒子から来たか否かを判断する必要がある。しかし壊れた先の素粒子は別の反応過程でも大量に生成される(バックグラウンド)ので、いろいろな壊れ方のうち、 $\gamma\gamma$ 、 Z^0Z^0 、 W^+W^- 、 $\tau^+\tau^-$ 、 bb (注1)の5つの壊れ方が発見に適している。この順番に発見能力が高い。2011年のデータにヒッグスの痕跡と思われるものが観測されたが、バックグラウンドがふらついてこのように見える可能性も1%程度あり(理学部ニュース2012年3月号)、慎重にデータを積み重ねてきた。

図は、ヒッグスが $\gamma\gamma$ に崩壊した場合を探索した結果であり、二つの γ の計測から計算した崩壊前粒子の不変質量の分布を示す。バックグラウンド(点線)がつくる連続的な分布の上に



陽子衝突で発生した二つの γ 線の不変質量分布。黒丸が実験データ、赤点線がフィットで求めたバックグラウンド分布、赤実線はヒッグス粒子(126.5 GeV) + バックグラウンドでフィットした結果であり、よくデータを再現している。

126 GeV 付近にきれいなピークが観測されている。統計的なふらつきで説明しようとする、 4σ 程度である。さらに Z^0Z^0 や W^+W^- などの崩壊データにも、同じ質量126 GeVに超過がそれぞれ 3σ 程度観測された。この3つを合わせると 6σ になる。(バックグラウンドがふらついてこんなことになる確率は 10^{-9} 、もう起こりえないレベル)。これは私が参加しているATLAS検出器の結果であるが、CMS検出器も同じ領域に 5σ の超過が観測された。

この結果をうけて、CERNは「標準理論ヒッグスと思われる新粒子」の発見を宣言した。題名にも括弧つきで「思われる」と歯切れの悪い表現をしているが、これは「もっとすごいモノ」の可能性があるから「標準理論ヒッグス」と断定していないのである。上に述べたように見えやすい5つの壊れ方のうち3番目まで綺麗にヒッグス粒子(と思われる)の信号が観測された。しかし4、5番目の $\tau^+\tau^-$ と bb の超過がまだ有意に観測されていない。まだデータが不足して見えない可能性も十分あるが、超対称性(注2)があった場合のヒッグス粒子はこれらに壊れにくい可能性がある。データが増えてもこのまま有意な超過が観測されなかった場合、「超対称性」のしっぽをつかんだ可能性がある。このもっとすごい可能性がある、この一見歯切れの悪い表現なのである。CERNは、この可能性を検証するためLHCの実験を約3か月延長した。「標準理論ヒッグス」なのか、「超対称性の兆候なのか」結果が得られるであろう。

ヒッグス粒子の発見は、現在のわれわれの住んでいる世界の基底状態(真空)が相転移をして対称性が破れた状態にあることを示すものである。真空の相転移の研究を通して、宇宙がこのような多様な姿になった過程を探る時代が始まった。(これらの結果は7月31日に揃ってPhys. Lett. Bに投稿された。)

(2012年6月27日プレスリリース)

注1) W^+ 、 W^- 、 Z^0 は弱い相互作用を媒介する重い「弱ボゾン」、 τ^+ と τ^- は、電子陽電子を第1世代、ミュー粒子を第2世代とする荷電軽粒子の第3世代粒子である。bはクォークの第3世代粒子である。

注2) 素粒子はスピンという性質で、ぐるっと一周 360° 回転すると元にもどる粒子と2周でもとに戻る粒子の二つに大別される。この区別をなくそうというのが超対称性である(「理学のキーワード」2012年1月号)。この超対称性が発見されると、これまで別とされていた3つの力「電磁気力」「弱い相互作用」「強い相互作用」がひとつの力だった(大統一)が証拠となったり、暗黒物質の同定ができると思われる。LHCのヒッグス粒子の次のターゲットである。