

# 歴史上最大規模のガンマ線が 約3万光年の彼方から地球に飛来

寺沢 敏夫 (地球惑星科学専攻 教授)

2004年12月28日午前6時30分26.35秒(日本時間)、瞬間的な照射エネルギーとしては過去最大規模のX線～ガンマ線が地球に飛来したことが、宇宙航空研究開発機構の磁気圏観測衛星「ジオテイル」(図1)の観測データを解析した結果、見いだされた。このガンマ線は、いて座の方向、約3万光年離れた場所\*にある軟ガンマ線リピーターSGR1806-20と呼ばれる天体が起こした巨大フレアから放射されたものである。そのガンマ線強度はこれまで観測されたどの太陽フレアからのガンマ線より1000倍以上も強かった。SGR1806-20は太陽より数十億倍も遠くにあることを考えると、この強さは驚くべきものである。そのため、知られる限りの全ての天文観測衛星のガンマ線検出器はピークを含む0.5秒ほどの間、飽和してしまい、ピークの高さや時間変化のありさまを測定することができなかった。

一方、ジオテイルに搭載されているプラズマ粒子検出器(LEP)は、その名称どおり電子やイオンを検出するための装置であるが、高エネルギーの光子であるX線やガンマ線にも感度がある。その感度はガンマ線専用の検出器と比べて1000分の1以下しかないが、逆にそのことが幸いして今回の史上最大のガンマ線のピーク時にも飽和せず、その高さや時間変化を正確に記録することができた(図2)。ところで、単に信号を得ただけでは科学観測としては不十分で、信号をガンマ線のエネルギー量などへ換算する必要がある。ジオテイルのデータはここ数年間頻発した太陽フレア時に発生したX～ガンマ線のデータによって精密に較正されていたため、この換算が可能であった。

ジオテイルと他の天文観測衛星の結果を合わせ、この天体は0.2秒間ほど大量のガンマ線を放射した後、続く約400

秒間にはエネルギーの低いX線を放射したことが明らかにされている。同様の大爆発を起こした天体は、1979年に初めて観測されて以来、今回が3つ目である。これらの天体の正体は、マグネター、すなわち1000兆ガウス程度という超強磁場を持つ中性子星であるとする説が有力である(この磁場の強さは電波パルサーとして知られるごく普通の中性子星の数百倍以上)。マグネターは普段から比較的低エネルギーの低いガンマ線を断続的に放射しているが、数十年に一度、大爆発を起こすらしい。爆発の原因は超強磁場エネルギーの一部が解放されたためであるとするのが通説であるが、まだ不明な点が多い。ジオテイルの得たエネルギー解放の瞬間を含むデータは、その解明に大きな寄与をすることとして注目を集めている。

(2005年2月22日プレスリリース)

\* 距離については論争があり、約3万光年とする説と約5万光年とする説があって決着していない。

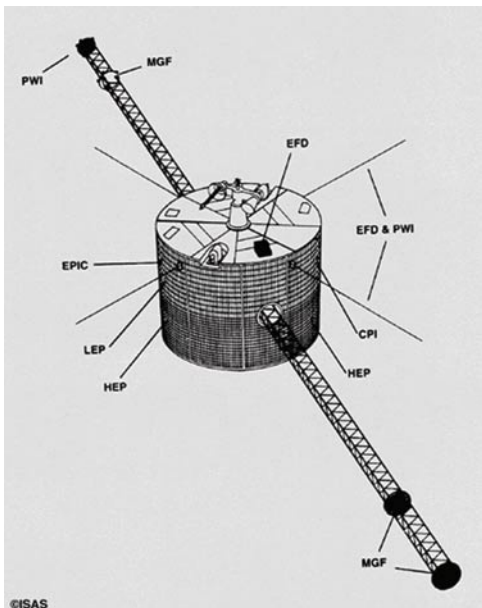


図1: ジオテイル衛星の外観のスケッチ。円柱状の本体の半径は1mほど。LEPは円筒形の壁の内側(図の左側)に設置されている。プラズマ粒子は壁に穿たれたスリットを通して検出器に達するが、ガンマ線は壁を貫いて検出器を照射した。

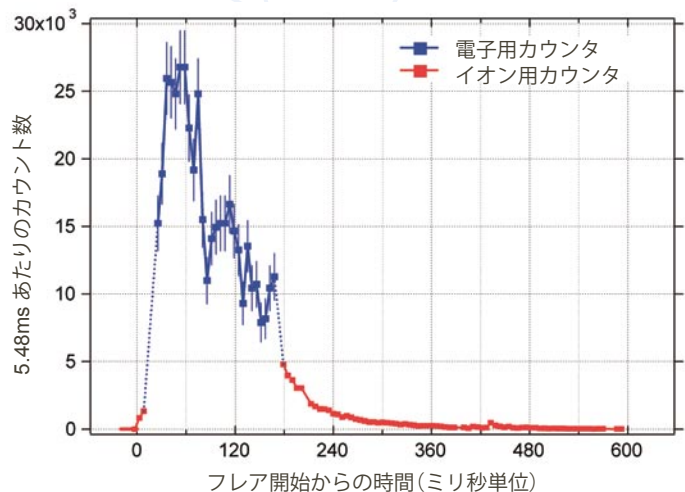


図2: ジオテイルが検出したSGR1806-20の巨大フレアからのガンマ線の時間プロフィール(開始から0.6秒間)

# 細胞内分子ネットワークの情報処理の仕組み

黒田 真也 (生物情報科学学部教育特別プログラム 特任助教授)

細胞は増殖因子などさまざまな外界刺激に反応して、増殖や分化といった自分自身の運命を決定する。例えば、PC12細胞では同じERK分子が一過性および持続性に活性化されるだけで、それぞれ細胞の増殖と分化を誘導する。この反応は細胞内シグナル伝達機構と呼ばれる、多数の分子から形成されるネットワークによる情報処理によって行われている。しかし、シグナル伝達分子ネットワークが増殖因子のどういう情報を認識して細胞の運命決定をするのかは、長い間の謎であった。

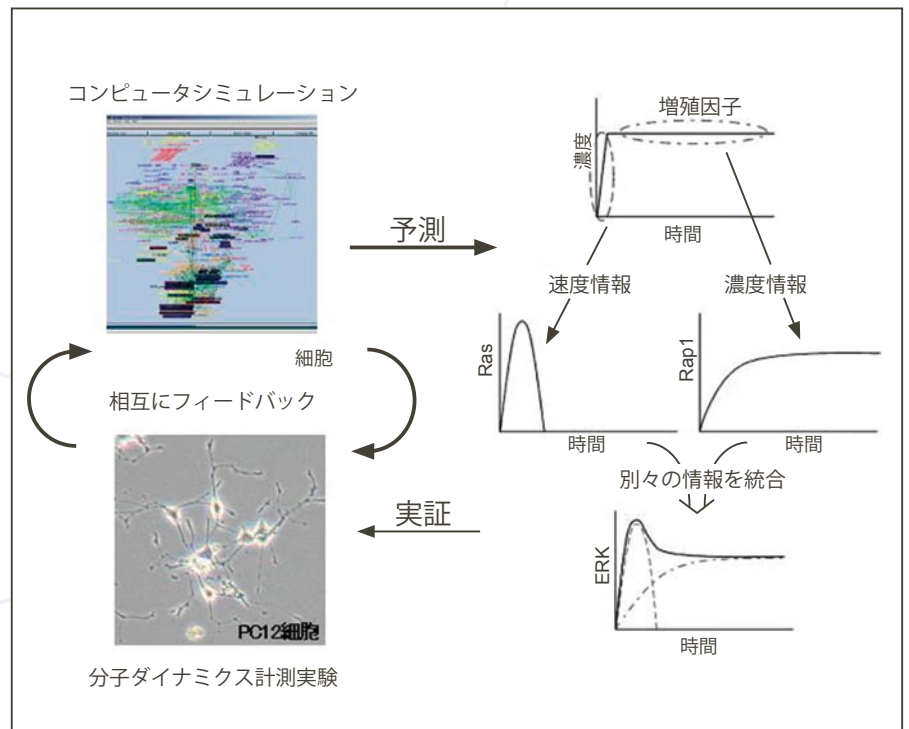
シグナル伝達分子のネットワークはひじょうに複雑で全体の反応を直感で捉えることは困難であるため、コンピュータシミュレーションを用いたシステム生物学が発展しつつある。しかし、個別の文献情報だけに基づいたコンピュータシミュレーションは精度がひじょうに悪く、予測に使えないことが大きな問題であった。本研究では、特定の細胞にフォーカスしてカギとなるいくつかの分子のダイナミクスを詳細に計測して、これを正確に再現するコンピュータシミュレーションを作成することにより、細胞全体の反応に対する予測精度を飛躍的に向上させることに成功し、この問題を克服した。

さらに、コンピュータシミュレーションによる解析から、増殖因子の投与速度と濃度をそれぞれRasとRap1経路が別々に捉えて、一過性と持続性のERK分子の活性化波形へ変換していることを予測した。この予測は実験により実証された。

今後、実験とコンピュータシミュレーションを密接にフィードバックさせた手

法を用いれば、さまざまな細胞の応答が正確に予測できるようになり、シグナル伝達を初めとする生物学の発展に大いに貢献すると期待される。将来的には、がんなどの病態解明や治療薬の開発の効率化に役立つことが期待される。

(2005年3月28日プレスリリース)



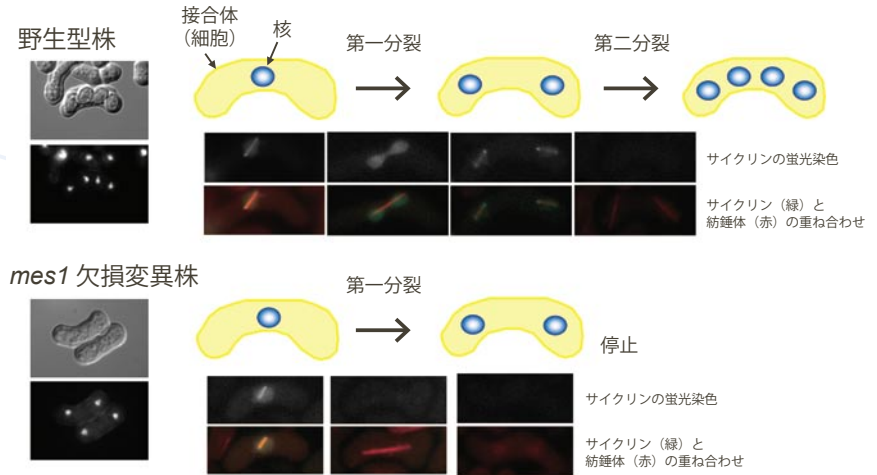
図：シミュレーションと実験をフィードバックさせた研究手法による細胞内分子ネットワークの「システム」の解析

# 減数分裂の進行を制御する因子の解明

山本 正幸 (生物化学専攻 教授)

減数分裂は卵子、精子、孢子などの生殖細胞を産生する際に行われる特別な核分裂様式である。通常の細胞分裂（体細胞分裂）では、染色体の複製と、生じた姉妹染色体を分離する核分裂が交互に繰り返す。いっぽう減数分裂では、染色体が複製した後に、相同染色体同士が対合・分離して染色体数が半減する第一分裂（還元分裂）が起こり、続いて複製で生じた姉妹染色体が分離する第二分裂（均等分裂）が起こる（図1）。当研究室の大学院生、伊澤大介君は、遺伝子実験施設や英国マリーキュリー研究所などの助力を得て、単細胞の真核生物である分裂酵母において減数分裂で連続した核分裂が起こる仕組みについて、次のことを明らかにした。

体細胞分裂において核分裂を誘導する重要な因子として、M期促進因子（MPF）が知られている。MPFはサイクリンとcdc2キナーゼという2つのタンパク質の複合体で、タンパク質リン酸化活性をもち、細胞周期を進めるための種々のタンパク質を制御している。また、体細胞

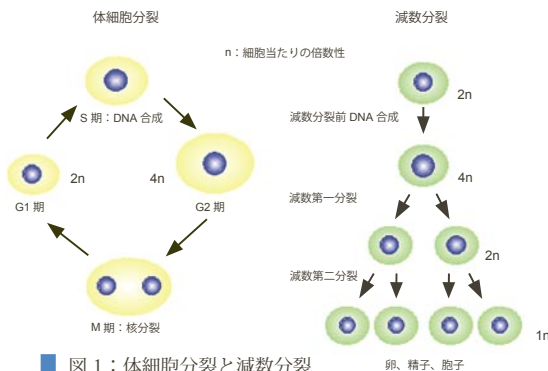


■ 図2：分裂酵母における減数分裂の進行

胞分裂ではサイクリンは染色体が分離する分裂期後期に分解され、それによってMPF活性が消失することが、次の細胞周期で新たな染色体複製を開始するために不可欠であることが知られている。

今回、減数分裂を行っている分裂酵母細胞でのサイクリンの挙動を蛍光で可視化して調べた。すると、サイクリンは第一分裂後期で量が半減するものの、完全には分解されず、第二分裂の前中期には再び紡錘体上に局在し、第二分裂後期で完全に消失した（図2）。分裂酵母では、体細胞分裂や第一分裂には異常がないが、第二分裂ができない *mes1* 変異株が以前に取られていた。*mes1* 遺伝子は第一分裂後期に強く発現している。この遺伝子の産物である Mes1 タンパク質を欠く細胞を調べたところ、第一分裂後にサイクリンが消失してしまうことが判明した（図2）。

Mes1がないと第一分裂後にサイクリンが消失する理由を調べたところ、Mes1は、サイクリンを分解するAPC/C（後期促進複合体 / サイクロソーム）の活性化因子であるSlp1タンパク質に結合し、Slp1がサイクリンを分解へと導く機能を阻害していることが明らかとなった。さらに、分裂酵母のMes1は、アフリカツメガエルの卵の抽出液で作製した試験管内タンパク質分解測定系でも、サイクリンの分解を阻害する能力を発揮した。これらのことから、減数分裂において二回の核分裂を続けて行うためには、第二分裂を誘導するのに十分なレベルのサイクリンを確保しておく必要があり、そのためにMes1のようなタンパク質分解の阻害剤が重要な役割を果たしていると結論される。本研究はIzawa et al. (2005, Nature 434, 529-533)に掲載されている。



■ 図1：体細胞分裂と減数分裂



# 超短寿命の夢の診断薬、一瞬で合成 陽電子放射断層撮影法に応用

中村 栄一 (化学専攻 教授), 依光 英樹 (化学専攻 日本学術振興会・特別研究員)

最近、陽電子放射断層撮影法 (PET) という最先端分子イメージング技術が注目を集めている。PET では  $^{11}\text{C}$ ,  $^{18}\text{F}$  などの陽電子放出核種で標識したトレーサー分子を使って、脳や心臓などの機能評価、ガンをはじめとする疾患診断、さらに新薬の薬物動態の観察などを被験者にダメージを与えずに分子レベルで行うことができる。目的に応じた放射性トレーサーを使うことによって、望みの生体情報が得られるのが PET の最大の長所である。ここで陽電子放出核種の半減期が短ければ、放射線の減衰をそれほど待たずに同一被験者に次の別の放射性トレーサーを投与できる。このことはガンから心臓病、脳機能障害まで、ありとあらゆる疾病の正確な診断をたった一日で行う夢の診断が実現できることを意味する。しかし実際には半減期 110 分の  $^{18}\text{F}$  が標識核種としてよく利用されており、一日の PET 測定は一回に限られている。一方  $^{15}\text{O}$  は半減期が 2 分であり、 $^{15}\text{O}$  標識トレーサーを用いれば上述の夢の診断が可能のように思える。また酸素は有機分子内によく見られる元素であり、多様な新規トレーサーを開発できる可能性がある。しかしこれまで  $^{15}\text{O}$  標識トレー

サーとしては酸素ガスや水などが利用されているものの、糖やアミノ酸、医薬品のような生物学的に重要な有機化合物を  $^{15}\text{O}$  で標識した例はない。これは  $^{15}\text{O}$  の半減期があまりに短く、 $^{15}\text{O}$  標識トレーサーの合成にこれまでにない超高速の合成法が必須であるためである。今回、我々は約 10 年前に独自に開発した、酸素ガスを用いた有機ハロゲン化物のアルコールへのラジカル水酸化反応を、徹底的に超高速化および高効率化し、これまでの有機合成化学の常識を越えた  $^{15}\text{O}$  標識トレーサーの超高速合成法を開発した。

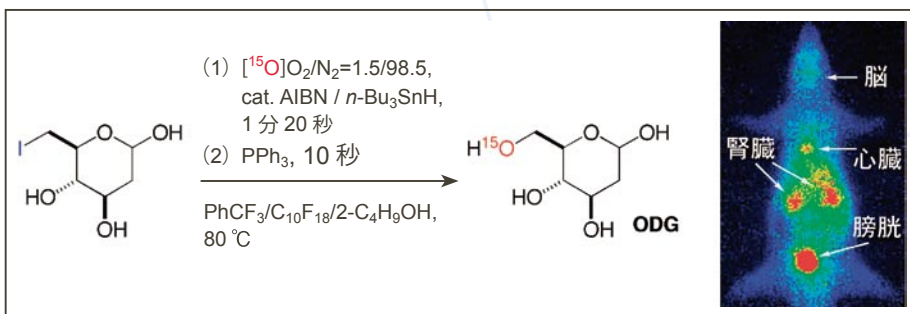
合成ターゲットとしては、下図の反応式に示すように糖を選んだ。具体的な改良点としては、1) 反応容器の底に目の細かいガラスフィルターを取り付け、超微量供給される放射性酸素ガスをそこから細かい泡として導入したこと、2)  $^{15}\text{O}$  標識酸素ガスと基質であるヨード糖の両方を溶かす反応溶媒としてフッ素化炭化水素とアルコールの混合溶媒を用いたことなどが挙げられる。これらを含めた反応条件の抜本的見直しにより、 $^{15}\text{O}$  の導入を 1 分 20 秒で終わらせることに成功した。 $^{15}\text{O}$  合成用サイクロトロン始動開始から精製完了まで、全工程わずか

7 分という驚異的な速度で  $^{15}\text{O}$  標識糖を合成することができた。

こうして得られた  $^{15}\text{O}$  標識糖をラットに投与したところ、膀胱、腎臓、心臓への蓄積がイメージングできた (下図右)。この体内挙動は、最も普及している有機 PET トレーサーである  $^{18}\text{F}$  標識 2-フルオロ-2-デオキシグルコース (FDG) と同じであり、 $^{15}\text{O}$  標識糖の有用性が確認できた。さらに 30 分間の ODG,  $^{15}\text{O}$   $\text{H}_2\text{O}$ , FDG イメージングを 5 分間隔で連続的に行うことにも成功し、超短寿命トレーサーの特性を活かした連続 PET イメージングを実現した。

複雑な構造を持つ  $^{15}\text{O}$  標識トレーサーの合成に成功し、これを用いた動物での PET イメージングを初めて達成した。合成法のさらなる検討によって人への投与も可能になると考えられる。この標識法は原理的に様々な  $^{15}\text{O}$  標識トレーサーの合成に容易に展開できる。さらに操作手順も前駆体の溶液に酸素ガスを通すだけで従来の標識法と比べ、ひじょうに簡単であり、キット化も容易である。これまで困難だった短時間での繰り返し PET 測定が可能となり、夢の診断への大きな一歩といえる。以上の成果は西村伸太郎博士率いる藤沢薬品工業 (現アステラス製薬) ならびに (財) 先端医学薬学研究センターの研究グループとの共同研究の結果である。構想から 10 年。日本で唯一の有機合成化学者が利用できる PET 施設である先端医学薬学研究センターの設立を待って、最先端有機合成と PET 技術の総力を結集した成果である。本研究は、「Yorimitsu et al.:Angew.Chem.Int. Ed.2005,44,2708.」に掲載されている。

(2005 年 3 月 31 日プレスリリース)



図左：ラジカル水酸化反応による  $^{15}\text{O}$  標識糖の超高速合成  
図右： $^{15}\text{O}$  標識糖によるラットの陽電子イメージング。赤い部分は標識糖が高度に蓄積していることを示している。

# 世界最小の電波望遠鏡がとらえた星の母胎の形成

岡 朋治 (物理学専攻 助手)

我々の銀河系は、暗黒物質を除けば、その質量の約 90% を二千億個にのぼる星々が占め、残りの 10% は星と星の間(星間空間)に広がる希薄なガスや塵(星間物質)から成る。星は星間ガスの特に濃い領域、星間分子雲の中で形成されることがよく知られており、その詳細な過程について活発な研究が為されてきた。一方で、星の母胎である星間分子雲の形成過程については、いくつかの理論的研究はあったものの、観測的研究はごく限られていた。

星間空間の炭素は、希薄な拡散雲の中ではおもに炭素イオン(C<sup>+</sup>)の形態をとり、濃密な星間分子雲中では一酸化炭素分子(CO)の形態をとる。しかし形成初期の星間分子雲において、比較的短い期間(～数百万年)、炭素原子(C)の形態をとる時期があることが理論計算から予測されている。我々はこの点に着目し、炭素原子の放つサブミリ波禁制スペクトル線(波長 0.6 mm)の掃天観測に

よって、分子雲の形成領域を探索することを計画した。

サブミリ波は大気中の水蒸気によって強く吸収される。我々は、あらゆる優良観測サイト(高地・乾燥)への持ち込みが可能な、超小型のサブミリ波望遠鏡システム(可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡)を開発した。検出装置には、小型 500 GHz 帯超伝導 SIS 受信機を新たに開発した。これには省電力型の小型機械式冷凍機を採用し、携帯発電機からの電力供給で 2.8K までの冷却を可能にした。

この望遠鏡を、チリ大学の協力のもと、チリ・アタカマ高地パンパラボラ(標高 4800m)に移設し、炭素原子スペクトル線による銀河系円盤部の広域観測を行った。その結果を一酸化炭素分子スペクトル線のデータと詳細に比較することにより、銀河系内域の二カ所において、炭素原子/一酸化炭素分子のスペクトル線の強度比が特に高い領域を見出した。これらは 4 つある銀河系渦状腕のうち、

「たて・南十字」腕と「じょうぎ」腕に付随し、銀河系の回転に対して渦状腕の上流側に隣接する。

銀河系の渦状腕を希薄な星間ガスが通過するさい、ガスは渦状腕の重力場に捉えられて密度が上昇する。このとき、おもに陽イオンの形態にあった炭素は速やかに炭素原子となり、炭素原子は徐々に一酸化炭素分子の形態をとるようになるであろう。我々の結果は、この渦状腕通過に誘発された分子相への変化、つまり星間分子雲形成の過程を、初めて観測によって捉えたものである。この発見は、銀河のグローバルな物質循環の一端をとらえた点で画期的なものであり、星間ガス相のダイナミズムの包括的理解へ向けた重要な一歩となるであろう。

本研究は、Oka *et al.* (2005, *The Astrophysical Journal*, **623**, 889) に掲載されている。

(2005 年 4 月 19 日プレスリリース)

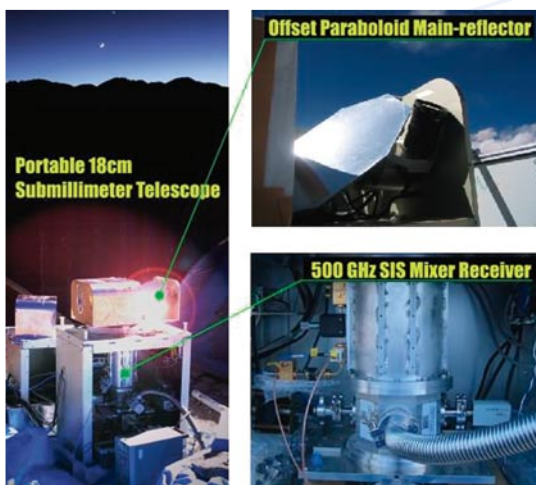


図 1: 観測中の可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡(左)、望遠鏡主鏡(右上)、および 500 GHz 帯超伝導 SIS 受信機(右下)

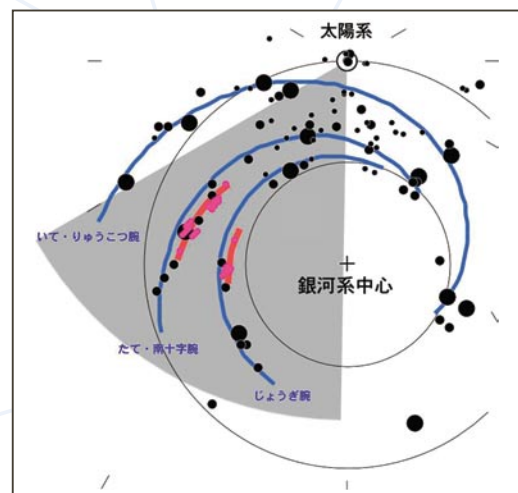


図 2: 一酸化炭素分子に比べ、炭素原子スペクトル線の強度が特に高い領域の分布(赤丸)。黒丸は大質量星が形成されている領域で、青太線は渦状腕の軌跡。