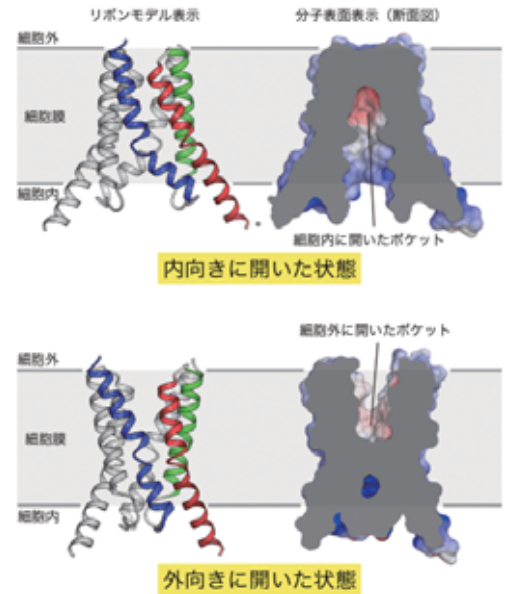


CASE 1

糖の輸送メカニズム タンパク質立体構造から分かった

糖は細胞にとって最も基本的なエネルギー源の1つである。細胞は糖を外界から取り込んだり、他の細胞から受け取ったりすることで生命を維持しているが、ここで糖分子の輸送を担うのが、細胞膜に存在する糖輸送体と呼ばれるタンパク質たちだ。私たちは近年発見された糖輸送体である SWEETファミリーに着目し、X線結晶構造解析によってその立体構造を決定した。その立体構造から、今まで不明であった SWEETファミリータンパク質による糖分子の輸送メカニズムが明らかとなった。



そこで私たちは SWEET による糖輸送のメカニズムを分子レベルで解明すべく、その立体構造を研究した。まず私たちは、大腸菌に由来する SWEET ファミリータンパク質である SemiSWEET に着目した。SemiSWEET の立体構造を決定するため、SemiSWEET タンパク質を大量に作り、高純度に精製した。さらに、この精製タンパク質を特定の条件に置くことでタンパク質分子が規則的に並んだ結晶を作製した。この結晶から、X線結晶構造解析と呼ばれる手法によって、SemiSWEET の立体構造を「内向きに開いた状態」と「外向きに開いた状態」の2つの状態で解明することに成功した(図)。

今回解明した SemiSWEET の立体構造。上段に「内向きに開いた状態」、下段に「外向きに開いた状態」の構造をそれぞれ示した。断面図を見ると、分子の中央にあるポケットがそれぞれ細胞内、細胞外に開いているのが分かる。

この立体構造から、SemiSWEET は二量体を形成しており、その二量体分子の中央に糖を結合するポケットがあることが分かった。またこの分子中央のポケットは、「内向きに開いた状態」と「外向きに開いた状態」において、それぞれ細胞の内側、外側に露出していた。したがって、細胞の内側、外側のいずれかから SemiSWEET のポケットへ結合した糖は、SemiSWEET が構造変化を起こすことによって細胞膜を越えた反対側へ露出され、これによって細胞膜を通過できることが明らかになった。

今回明らかとなった糖の輸送メカニズムは、将来私たちが細胞の栄養輸送プロセスをより良く理解し、それをうまく利用するための応用研究へつながることが期待される。

本研究成果は、Y. Lee *et al.* *Nat. Commun.* 6, 6112 (2015) に掲載された。

(2015年1月19日プレスリリース)

あらゆる細胞は、外界からエネルギーを取り込むことで生命を維持している。細胞が取り込むエネルギーの中でも、最も基本的なものがブドウ糖やショ糖などの糖(もしくは炭水化物)である。ヒトは小腸で消化産物から糖を取り込み、それらを血流に載せて体中の細胞へと運搬する。また植物は光合成によって葉で糖を作り出し、それらを篩管(しかん)を通じて根や花などの細胞に運ぶ。

この様な糖輸送の過程において、糖分子は細胞を覆う細胞膜を通過する必要があるが、この細胞膜は疎水的な性質を持つため、親水的な性質を持つ糖分子はそれ単独ではこの細胞膜を自由に行き来することは出来ない。そのため、糖分子がこの細胞膜を通過するためには、細胞膜上に存在する糖輸送体と呼ばれるタンパク質の助けを借りる必要がある。ごく最近になり、SWEET と呼ばれる新しい糖輸送体ファミリーが発見され、細胞からの糖の排出に働いていることが明らかになった。しかしながら、SWEET がどのようにして糖の輸送を行っているのか、その分子レベルでのメカニズムはよく分かっていなかった。

CASE 2

原子状の惑星の内部には
水の中性水素？

水の惑星と呼ばれる地球、
その誕生から現在に至る進化、
そして、そこに生起する地震・火山活動などの
ダイナミックな現象を紐解く鍵は、
水と地(=岩石)の関係の解明にあると考えられてきた。

今回、地球深部の鉱物であるスティショバイトを
ミュオンスピン回転法で調べたところ、水素が、この鉱物中で、
酸素と結合して水(=水酸基)として存在するよりも
中性原子として存在することを好むことを
示唆する結果が得られた。
地球を物質科学的に理解するためには、
中性水素の果たす役割に
注目する必要があるのかも知れない。



人類は、1969年に月面への着陸に成功し、その後、無人探査機は火星や小惑星イトカワへの着陸、木星や土星、さらには、天王星、海王星、冥王星の探査にも成功している。一方、地球内部は宇宙空間に比べ距離的に近いにも関わらず、その高温高压に耐えうる探査機の存在しない永遠のフロンティアともいえる。探査機の代わりに用いられるのが、高压実験装置であり、現在では、地球中心に相当する400万気圧以上の発生も可能になっている。我々が研究対象としたスティショバイトも、大型プレス装置を用いて高压合成された試料である。

太陽系に最も豊富に存在する元素は水素であり、重量にして70%以上を占める。これが酸素と結合した水は、地球表層部に大量に存在して、地球を生命の宿る水の惑星としている。生命活動の根源である水は、地球の誕生から現在に至る進化、また、マントル対流や地震・火山活動に重大な影響を与えるものと考えられており、水と地(=岩石)の関係の解明こそが、地球のダイナミックな振る舞

いの理解に決定的に重要であるとされてきた。しかし、直接探査の不可能な地球内部において、水素が水として存在することを前提とする必然性はないのではないか？このように考えたのが、ミュオンスピン回転法による研究の出発点である。

正ミュオンは、プロトン(水素の原子核)の約1/9の質量でスピン1/2をもつ1価の荷電粒子であり、約22マイクロ秒で崩壊することから、プロトンの軽い放射性同位体とみなせる。物質中に、スピンの揃ったミュオンを導入して外部磁場を印加し、崩壊時に発生する陽電子の方位分布の時間変化を測定することで、物質中の水素の状態を調べることが可能である。このミュオンスピン回転法で、クォーツ(石英)の高压相であるスティショバイトの中での水素の状態を調べた。

クォーツが上部マントルに特徴的なSiO₂四面体を基本ユニットとするのに対し、スティショバイトは下部マントルに特徴的なSiO₂八面体を基本ユニットとする典型的な高压鉱物である(両鉱物は共にSiO₂組成)。下部マントルでは、Cと同族のSiが4個ではなく6個の酸素と結合して、稠密な構造をとる。スティショバイトに対するミュオンスピン回転法の結果は、この鉱物中で、水素は、酸素と結合して水(=水酸基)として存在するよりも中性原子として存在することを好むことを示唆するものであった。スティショバイトの稠密な構造の中の小さく異方的な空隙に、電子を束縛して原子状態となった中性水素が押し込められている可能性がある。地球を物質科学的に理解するためには、もしかすると水ではなく中性水素の果たす役割に注目する必要があるのかも知れない。

本研究は、Funamori *et al.*, *Scientific Reports* 5, 8437 (2015)として発表された。

(2015年2月13日プレスリリース)

注：2015年3月まで地球惑星科学専攻准教授

J-PARC/MLF_D1のミュオンスピン分光器(写真提供：物質構造科学研究所)。量子ビーム地球惑星科学の分野では、J-PARC/MLFやKEK/PFなどの大型施設で利用可能なミュオン、中性子、光子(シンクロトロン放射光)を目的に応じて使い分けることで、様々な研究が進められている。



CASE 3

大きな有機分子の吸収線を多数発見

星間空間に

星間空間に存在する有機分子の研究は、宇宙における生命の起源の解明に向けた重要なテーマである。

われわれは、独自に開発に成功した次世代の赤外線高分散分光器「WINERED」を用いて多数の星の高精度なスペクトルを取得することで、星間ガス雲中の大きいサイズの有機分子による吸収線を新たに多数発見する事に成功した。ダストによる減光の影響を受けにくい赤外線波長帯でも高精度な吸収線の観測が可能になった事で、星間空間における有機分子の生成過程や性質の理解が今後飛躍的に進むことが期待される。



1922年、星のスペクトル上に既知の原子の吸収線とは一致しない謎の吸収線数本がヒーガー (Mary Lea Heger) によって報告された。後にそれらの吸収線は、星自身ではなくその星の手前の星間ガス雲に含まれる物質による吸収線であることが明らかとなり、原子の吸収線よりも線幅が太いという特徴から「ぼやけた星間線」(diffuse interstellar band, 以下 DIB とする) と呼ばれている。観測技術の発展に伴い現在では500本以上もの DIB が主に可視光帯に検出されているものの、いまだにその吸収線を引き起こしている物質は謎のままであり、天文学における最古の未解決問題の1つとなっている。現在ではさまざまな観測的証拠から、星間分子の中でもっとも大きな部類の有機分子による吸収線だとする説が有力となって

おり、生命の起源につながる物質であることが期待されている。

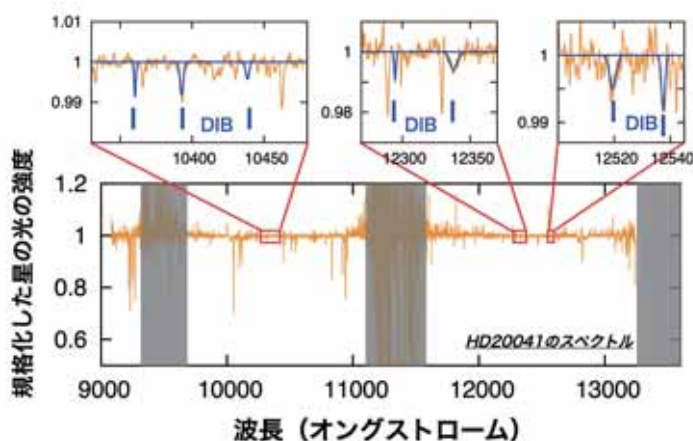
DIB が観測されてきた領域は、ダストによる星間減光によって太陽近傍の狭い範囲にこれまで制限されてきた。この困難は、可視光と比べて減光されにくい赤外線を用いる事で解決できる。赤外線波長帯を用いることによって、これまでダストに覆い隠されてきた分子雲や埋もれた星形成領域など、銀河系内の多様でかつ広い領域で DIB を観測する事が可能となり、DIB を引き起こしているとされている星間有機分子の生成過程や性質を明らかにできると考えられる。

われわれは、京都産業大学神山天文台の荒木望遠鏡に搭載されている「WINERED」という赤外線高分散分光器を用いて、世界で初めてとなる「赤外線 DIB」の系統的な観測的研究を行った。WINERED はわれわれのグループで新たに開発した装置であり、最先端の赤外線技術を結集することで世界最高の感度を実現している。25天体の赤外線スペクトルを取得し解析した結果、これまで知られていた5本の DIB に加えて新たに15本の DIB を検出する事に成功した(図参照)。本研究は、高性能な赤外線分光器の登場によって赤外線波長帯でも DIB の高精度な観測が初めて可能になったことを示す重要な成果である。また、本研究で初めて検出した DIB のうち数本は、過去調べられていたベンゼン環からなる有機分子である「芳香族炭化水素」の陽イオンの実験室スペクトルと近い波長に検出された。

今後本研究を足がかりとして、赤外線による DIB の観測が進められることで、これまでダストというベールに覆い隠されていた DIB の知られざる性質が次々と明らかになっていくだろう。また、DIB 候補分子を実験室合成して同定しようという試みと連動して、今後、天文学と化学の両面から相補的に研究が進んでいけば、約100年の長きにわたる DIB の謎が解明される日も近いかもしれない。本研究は、S. Hamano et al., The Astrophysical Journal, 800, 137 (2015) に掲載された。

(2015年2月16日プレスリリース)

注：天文学専攻博士課程修了



本研究で取得された星 (HD20041) の赤外線スペクトルと、新たに発見した DIB の例