

一家に1枚

量子仮説ノーベル賞受賞から100年

この世界は量子で満ちている!

量子ビームの図鑑

りょうし

量子ビームの わくわく

ワンダーランド

私たち自身を含めてすべての物質は、原子やその原子をつくる素粒子などの量子からできています。

量子はとても小さく、たとえば原子は1億分の1cmくらいの大きさです。原子より小さな世界では、量子はボールのように一つひとつ数えられたり、ぶつかったりする粒としての性質のほか、強め合ったり弱め合ったりする波としての性質も現れるようになります。大きさや質量をもたない光なども量子として扱われます。これがとても不思議な量子の世界です。

量子の発見者たち

138億年前に誕生した量子に私たちは100年前にやっと出会えました。

量子論の父
マックス・プランク

プランクが唱えた「エネルギーには最小単位がある」とする量子仮説は量子論の発端となり、1918年ノーベル賞を受賞しました。2018年は、それから100年目になります。

陽子の発見
アーネスト・ラザフォード

1918年 α(アルファ)線と窒素の実験から、陽子を発見しました。

天然鉱物からの放射線の発見
アンリ・ベクレル ビール・キュリー マリー・キュリー

19世紀の終わり頃、天然鉱物から放射線が発生することが発見されました。のちに、これがα線などであることがわかり、量子論の発展につながりました。

量子の誕生と発見

宇宙は今から138億年くらい前にビッグバンという大爆発で誕生しました。その時、物質をつくる量子や光(光子)などこの世界にある様々な量子ができていきました。やがて原子などの量子ができ、その原子を材料に太陽や地球など星ができ、生命や私たち人類も生まれました。この世界は量子で満ちているのです。100年ほど前、現代物理学が急速に発展するなかで私たちは量子の存在を発見しました。

粒子性と波動性の二重性

量子は粒のように数えられ、また、波のように強め合ったり弱め合ったり干渉します。これを「粒子性と波動性の二重性」といいます。これは量子のもつ大きな特徴の一つです。

干渉縞が現れる(波動性)
量子を1つずつ打ち込む(粒子性)

二重スリット

例えば、二重スリット実験で量子を1つずつ打ち込むとスクリーンで波のように縞模様(干渉縞)が観察されます。

電子の二重スリット実験の動画をみる事ができます。
<http://www.hitachi.co.jp/rd/portal/highlight/quantum/doubleslit/index.html>

ビッグバン

量子ビーム

身近にある量子を量子ビームにすることで効率的に利用できます。利用するために様々な装置や施設が開発されました。

加速器



日本の原子核物理学の父、仁科芳雄は1937年、日本で初めてサイクロトロン加速器を建設し、原子核、素粒子研究の基礎を築きました。

新元素はこのビームで作られた

原子核ビーム

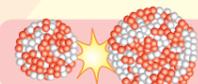
他の原子核などと強力に衝突。物質のなりたちや新しい元素の研究などには欠かせないビームです。



超伝導リングサイクロトロン(SRC)加速器
原子核ビームをつくる加速器。理化学研究所 RI ビームファクトリー(RIBF)にあります。



重粒子線がん治療室
治療室の外にある加速器から重粒子ビームが送られ、がん細胞をならい撃ちします。

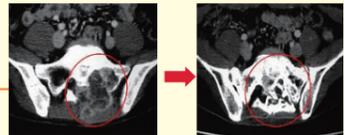


RIBFでは、垂直の原子核ビームをヒュムスの原子核に衝突させて、新しい113番元素が合成されて二ホニウムと名付けられました。二ホニウム合成経路の動画が見られます。
<http://www.nishina.riken.jp/113/approach.html>



骨肉腫 治療前

16回照射後



骨肉腫の重粒子線治療結果
手術困難とされた仙骨(骨盤の骨)の骨肉腫(黒い部分)に重粒子線照射治療を実施した結果、骨肉腫が消えました(白い部分)。

がん治療、材料や植物の改良に力を発揮

重粒子ビーム・イオンビーム

衝突により大きな影響を与えるビームです。炭素イオンなどの重粒子ビームはがん治療に利用されます。また植物の品種改良、半導体や樹脂の改質などにも幅広く利用されています。

重粒子・イオン

重粒子、イオン、原子核の質量は含まれる陽子と中性子の数による

がん治療も、他の量子の発生もおまかせ

陽子ビーム

精密なビーム制御が身体深部のがん治療に利用されます。また、中性子やミューオンなど、ほかの量子の発生にも利用されます。

陽子

陽子は電子より約1700倍重く、中性子より少し軽い

+でもーでもない中性なのが特徴

中性子ビーム

+や-の電荷を持たないので強い透過力があります。非破壊検査などのほか、水や磁石の性質を観察することができ、薬や生命科学、材料の研究などにも利用されています。

中性子

中性子は電子より約1700倍重い

火山の中も、ビルの中も突き抜ける強い透過力

ミューオンビーム

ミュー粒子とも呼ばれ、宇宙からも降り注ぎ透過力が強い。火山や建物の内部調査のほか、磁石の研究などにも利用されています。

ミューオン

ミューオンは電子より約210倍重い

原子を見る、超微細な加工ができる

電子ビーム

小さなものを観察する電子顕微鏡や、超微細加工などに使われます。金属の電子ビーム溶接などでも利用されています。

電子

電子の質量は1kgの約100億分の1の100億分の1の100億分の1

体の中を見る、物質の中を見る

X線・放射光

X線は医療でのレントゲンのほか、物理学、化学、工学、医学、生物学、考古学、科学鑑定など幅広い分野で私たちの生活を支えています。

X線

光子の質量はゼロとされている

私たちが一番利用している光のビーム

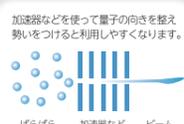
レーザー光ビーム

広がらずにまっすぐ進む光です。通信や加工などのほか、手術や治療など医療分野での利用など、生活には欠かせない光のビームです。

レーザー光

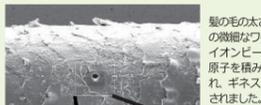
量子ビームの利用

量子であるX線は、発見されてすぐに医療の分野で利用されました。また、量子としての波の性質や粒子の性質は、物質の原子配列や結晶構造の研究や、電子の状態の研究に応用され、役立つ新材料を生み出しました。X線だけでなく、電子や中性子などの様々な量子が、それぞれの特徴を活かし、物質の観察や加工、医療診断・治療など私たちの世界を豊かにするために利用されています。また、量子の向きを整えてビーム状にすると、ばらばらな時よりも使いやすくなります。現在、私たちはそれを量子ビームとして、安全に利用する配慮をしながら様々なものに利用しています。



ばらばら 加速器など ビーム

世界最小のワイングラス



髪の毛の太さの1/50ほどの微細なワイングラスは、イオンビームを利用して原子を積み上げて製作されました。

量子が拓く未来

私たちは多くの分野で様々な量子を利用して、量子の性質には、「粒子性と波動性の二重性」のほかに、「状態のつれ」や「状態の重ね合わせ」などの性質があります。これらの性質を利用して、量子の利用分野をさらに広げます。例えば、「状態のつれ」や「状態の重ね合わせ」という性質を利用した量子コンピュータの開発や、周りの状況にとっても敏感に影響を受けやすい性質を利用した計測・センシング技術、暗号通信技術の開発などが期待されています。さらに、生命現象を解明する量子生命科学、原子核の融合や分裂に伴うエネルギーを利用する量子エネルギー工学など、私たちの未来を拓いていきます。



ダイヤモンドナノセンシングのイメージ
生体分子の動きを1分子レベルで計測する



華麗な花びらをもつ菊の新品種

イオンビームを照射して、花びらの形が変化した華やかな雰囲気の新品種を作ることができます。このように品種改良された菊は、祝いやイベントなど、新しい用途が期待されています。

タンパク質中性子回折装置 iBIX

試料を取り回して検出器が配置され、高精度のデータを一度に多く得られます。



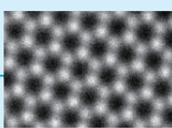
RNA分解酵素中の水分の様子
X線で酸素原子の位置(緑)を観察できますが、中性子を用いると酸素に結合した水素(ここでは黒色)の位置(紫)まで観察できます。



煙を上げる薩摩硫黄島硫黄岳

薩摩硫黄島のミューオグラフィ透視像
宇宙からのミューオンが火山を通過する状態を調査。火口下に大量のマグマの様子が写っています。ミューオグラフィは、日本で初めて実証され、日本で名付けられた技術です。

ここに紹介したのは量子の姿のほんの一部です。さらなる量子の世界へGO→
http://stw.mext.go.jp/series/quantum_wonderland.html



グラフェンの電子顕微鏡写真
電子の波の性質を利用して、原子レベルまで観察できます。炭素原子の並びがわかります。

電子加速器(直線加速器)
電子を光速近くまで加速します。自由電子レーザー SACLA では電子ビームを用いて、極短波長のレーザー光を発生させています。

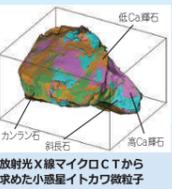


ミューオン実験装置



大型放射光施設 Spring-8

放射光は電子の運動の変化などで発生する X 線を含む光のビームです。Spring-8 で発生する放射光は太陽の100倍も明るい光です。



放射光 X線マイクロCTから求めた小惑星イトカワ微粒子
宇宙から持ち帰った小惑星イトカワの微粒子に含まれるカンラン石、輝石などの鉱物の3次元分布が得られました。



X線を利用した診断
X線画像診断はもともと古くから行われている量子の利用です。

製作・著作：文部科学省
企画・制作・監修：安原院あかね、鈴木順弘、足立恵美子
(量子技術研究開発機構)
画像提供：愛知産業総合試験場、茶屋、茶城、
茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター日下勝弘教授、
株式会社日立製作所研究開発グループ、
京都大学大学院工学研究科分子工学専攻白川研究室、
高エネルギー加速器研究機構、J-PARCセンター、
東京大学宇宙線研究所宇宙線素粒子研究施設、
東京大学地震研究所田中宏幸教授、
兵庫県立大学高度産業技術研究所井松真二氏、
物質・材料研究機構、理化学研究所、
量子技術研究開発機構(50首領)
編集・デザイン・イラスト：
有限会社オズクリエイティブルーム、長谷島妙子、三浦布美

科学技術週間
<http://stw.mext.go.jp/>