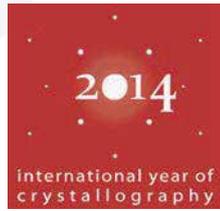




United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International
Union of
Crystallography



Partners for the International Year of Crystallography 2014

結晶学っていいね！



世界結晶年2014





Published by the United Nations Educational,
Scientific and Cultural Organization
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2013
All rights reserved

Original title: Crystallography matters!

Coordinator/Editor: Susan Schneegans

Front cover photos : Aeroplane © Shutterstock/IM_photo; Scientist in Africa @ FAO
Back cover photo: Young family watching TV @ Shutterstock/Andrey_Popov

Composed and printed
in the workshops of UNESCO

Translated into Japanese by Nobuhisa Watanabe, Nagoya University

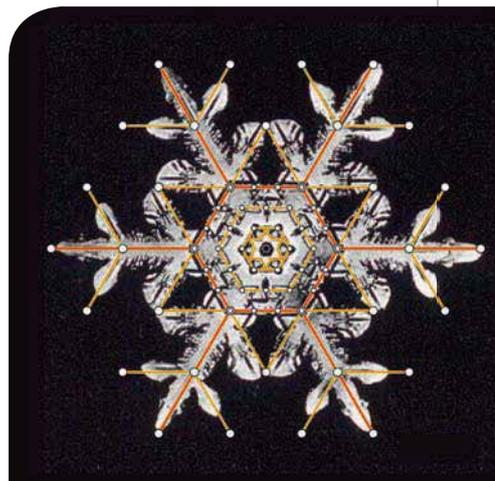
結晶学とは何ですか？

結晶は自然界のありとあらゆる所でみられます。岩石を構成する無機物（宝石の原石やグラファイトなど）として特に豊富に存在しますが、雪や氷の結晶や塩粒なども結晶の例です。結晶の美しさ、対称的な形や、さまざまな色彩は、はるか昔から多くの学者達を魅了して来ました。初期の結晶学者は自然界に存在する結晶の形の研究に幾何学を応用しました。

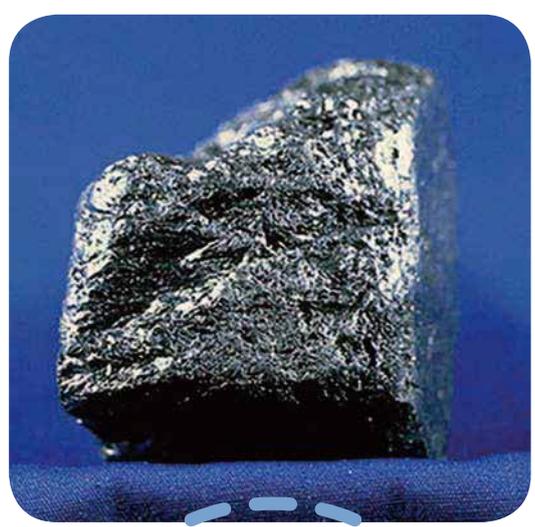
20世紀初頭に、X線を使うことで物質の構造を外側から観察できるようになり、これが現代の結晶学の始まりとなりました。X線の発見は1895年です。X線は人間の目には見えない光です。X線が物質に当たると、物質中の原子がそれを散乱します。結晶学者は、結晶中の原子の規則正しい配置によって、X線がある限られた方向だけに散乱されることを発見しました。そして、散乱されたX線の散乱方向と強度を測定することによって、結晶中の原子配列の三次元的な画像を描くことが出来るようになりました。結晶は、それが三次元の固体であり、規則正しく、しばしば高い対称性で原子が並んでいるという性質から、物質の構造を原子あるいは分子レベルで研究するのに理想的な対象であるということが発見されたのです。

X線結晶学のおかげで、科学者は原子どうしを繋ぐ化学結合の研究をすることができます。グラファイトやダイヤモンドをみてみましょう。これらの鉱物はあまり似ていません。グラファイト（黒鉛）は、鉛筆に使われているように、不透明で柔らかい。一方でダイヤモンドは透明で堅い。けれども、それらは親戚のようなもので、化学的に言えば両方とも炭素からできています。ダイヤモンドが光り輝くのは、化学結合によって作られた構造のために光が分散させられるからです。私達は、こうしたことをX線結晶学によって知っています。

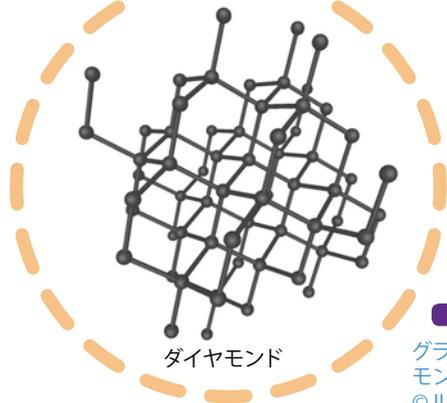
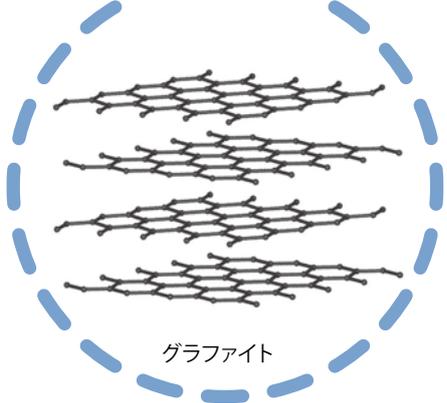
X線結晶学は規則的な原子配列をもった固体結晶の観察に使用することができます。例えば鉱物や、塩や砂糖といった化合物です。氷の研究も融けないうなら可能です。



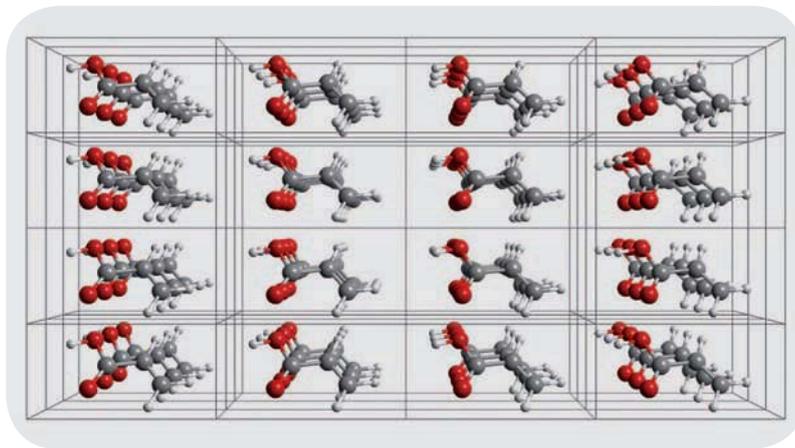
雪は結晶です。この六角形の対称性は水分子どうしの結合に依存しています。
画像: Wikipedia



グラファイトの塊（左）と天然ダイヤモンド（右）。これらの2つの結晶は見かけは似ていませんが、純粋な炭素からできている点で、お互いにとっても似ています。ダイヤモンドを輝かせるのは、化学結合による構造がもたらす光の散乱能です。
写真: Wikipedia



グラファイトの結晶構造（左）はダイヤモンドの構造とは随分ちがいます。
© IUCr



結晶構造の三次元イメージ。結晶中では、原子や原子の集団、イオン、分子は三次元的に規則正しく配列しています。

© IUCr

それはなぜかと言うと、液体状態では、分子の動きのために、散乱されるシグナルが解釈可能な状態で記録されないからです。結晶学者達は、タンパク質やDNAなどの生体分子も結晶化することで研究できることを発見しました。これは生物学および医学に結晶学の適用範囲を拡張しました。この発見は、そうした複雑な結晶の構造解析を可能とするような計算機の進歩と重なっていました。

その後の100年の発展の結果、X線結晶学は物質の構造とそれに関連した性質の研究のための優れた研究手段となりました。今ではさまざまなサイエンスの分野の

進歩の中核となっています。新たな結晶学的手法が導入され続けており、電子線、中性子、シンクロトロン放射光といった新しい線源も使用可能となっています。こうした進歩は完全結晶だけでなく、準結晶(ボックス記事参照)や液晶(表紙のテレビの写真参照)の原子配列の研究を可能にしています。

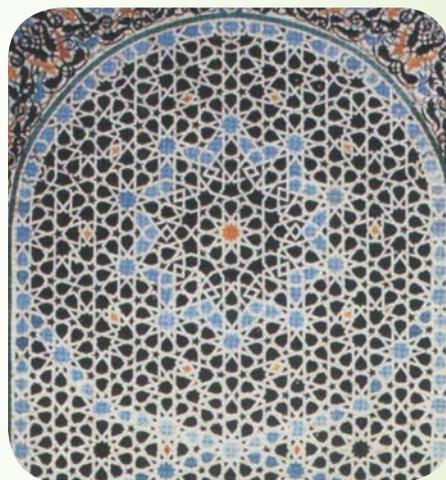
強力な光やX線を発生させることができることができる装置(シンクロトロン)の進歩は結晶学に変革をもたらしました。シンクロトロンを有する大型施設は、生物学や化学、物質科学、物理学、考古学、地質学などの分野の結晶学者に利用されています。シンクロトロンは、例えば、考古学者が数万年前の人工物の組成や年代を正確に推定したり、地質学者が隕石や月の石の分析や年代を推定することを可能にしています。

準結晶：自然界の法則に挑戦

1984年、ダン・シェヒトマンは、原子が厳密に繰り返さない形で集合した結晶の存在を発見しました。これは結晶の対称性の常識に挑戦するものでした。それまでは、結晶では1, 2, 3, 4, 6個の側面から構成される対称的な幾何学的形状のみが存在すると考えられていました。そうした形状のみが三次元的に繰り返さすことができるからです。

ところが、シェヒトマンがアルミニウムとマンガンの合金を電子顕微鏡で観察したところ、五角形(五角錐)を発見しました。この「逸脱」は準結晶として知られるようになりました。シェヒトマンは、この画期的な発見で2011年のノーベル化学賞を受賞しました。

準結晶は、その原子の配列の結果として独自の性質を持っています。堅くてもろく、ほとんどガラスのようで、腐食や付着しにくい性質です。現在では、例えば焦げ付かないフライパンのような工業製品にも利用されています。



出典：回折像, Physical Review Letters (1984年), 53巻, 1951-1953ページ;
モザイク模様の写真, モロッコ結晶学会

モロッコの職人達(マーレム; 師匠)は準結晶にみられるパターンを何世紀にもわたって知っていました。上の2つのイメージは700年も時を隔てたものです。左のイメージはシェヒトマンが1984年に撮影した準結晶の回折パターン。右の写真はモロッコのフェズにある14世紀の床タイルのモザイク模様(ゼリージュ)です。この2つのイメージは、五角形のパターンが驚くほど良く似ています。

歴史概観

歴史を通じて、人は結晶の美しさや神秘性に魅了されて来ました。2千年前、ローマの博物学者大プリニウスは「岩塩の六角柱の規則性」を称賛しています。当時すでに古代インドや中国文明では砂糖や塩の結晶化法が知られていました。インドではサトウキビの絞り汁から甘蔗糖の結晶が生産され、中国では海水を煮詰めて純粋な塩を作っていました。結晶化はイラクでも8世紀には発達していました。200年の後、エジプトやスペインのアンダルシア地方では岩塩をカットして、ここに示す写真の箱のような器具や装飾品に使用する技法を習得していました。1611年、ドイツの数学者・天文学者であるヨハネス・ケプラーは雪の結晶の対称的な形を始めて観察し、そのことから内在する構造を推論しています。それから200年を経ずして、フランスの鉱物学者ルネ=ジュスト・アユイは結晶の幾何学的な法則を発見しました。



1200年頃エジプトで作られた宝石飾り箱
©フランス国立クリュニー中世美術館

1895年、ヴィルヘルム・コンラート・レントゲンによってX線が発見されます。レントゲンはこのことで1901年に最初のノーベル賞を受賞しています。しかし、X線が結晶中を相互作用しながら伝搬した結果、結晶の性質に依存する特定の方向に回折することを発見したのはマックス・フォン・ラウエと彼の共同研究者達でした。この発見でラウエは1914年のノーベル物理学賞を受賞しました。

それらと同様に重要な発見は、1913年のウィリアム・ヘンリー・ブラッグとウィリアム・ローレンス・ブラッグの父子によるもので、X線を使えば、結晶中の原子位置を正確に決定して三次元構造を解明することができるというものです。これはブラッグの法則として知られ、現代の総ての自然科学の発展に大きく寄与しました。なぜなら、原子配列は物質の化学的、生物学的性質を決め、そして結晶構造が物理的性質を支配するからです。ブラッグ父子は1915年にノーベル物理学賞を受賞しています。

1920年代から1960年代にかけて、X線結晶学は生命の構造の謎のいくつかの解明を助け、保健医療に大きく貢献しました。ドロシー・ホジキンは、コレステロール（1937年）、ペニシリン（1946年）、ビタミンB12（1956年）、インスリン（1969年）など、いくつかの生体分子の構造解析をしました。1964年にノーベル化学賞を受賞しています。ジョン・ケンドリューとマックス・ペルーツは、最初のタンパク質結晶構造解析を成し遂げ、1962年にノーベル化学賞を受賞しています。このブレイクスルーの後、これまでに90,000を超えるタンパク質や核酸その他の生体分子の構造がX線結晶学によって決定されています。

20世紀最大の画期的な発見の一つは、ジェームズ・ワトソンとフランシス・クリックによるDNAの結晶構造です。あまり知られていないかもしれませんが、彼らの発見は、1958年に若くして亡くなったロザリンド・フランクリンによって行われた回折実験の結果に基づいています。この「二重らせん」の発見は、蛋白質結晶学に道を開き、それは今日の生物学や医学に不可欠の道具になっています。ワトソンとクリックは、ロザリンド・フランクリンの共同研究者であるモーリス・ウィルキンスとともに1962年のノーベル生理学・医学賞を受賞しました。

結晶学と結晶学的手法は、この50年間に継続して発展しており、例えば1985年にハーバート・ハウプトマンとジェローム・カールが新規な結晶構造解析法の開発に対してノーベル化学賞を受賞しています。こうした結果、ますます多くの化合物の結晶構造が解析されています。

結晶学に関連する最近のノーベル賞としては、ヴェンカトラマン・ラマクリシュマンとトーマス・スタイツ、アダ・ヨナット（2009年、8ページ参照）や、最初の新規な二次元結晶性物質で特筆すべき電氣的・力学的特性を持つグラフェンの画期的な研究でアンドレ・ガイムとコンスタンチン・ノボセロフ（2010年）に、準結晶の発見（前ページの囲み記事参照）でダン・シェヒトマン（2011年）に、人体のほぼ総ての機能に関与している細胞表面の受容体タンパク質ファミリーの構造の解明でロバート・レフコウィッツとブライアン・コビルカ（2012年）に贈られています。

過去一世紀にわたって、結晶学に直接または間接的に関係する研究によって全部で45人の科学者がノーベル賞を受賞しています。ここに全部を記載することはできませんが、そのことは結晶学がさまざまな科学を支えて来たことを示しています。今日も、結晶学は新規でかつ有望な基礎研究の材料を提供し続けています。

なぜ各国は結晶学に投資する必要があるのでしょうか

結晶学は、コンピュータのメモリーカードから、フラットテレビの画面、自動車や飛行機の部品に至るまで、ほとんど全ての**新素材**の開発を支えています。結晶学者は物質の構造の研究をするだけでなく、物質の構造を変えて新しい性質を持たせたり、違った応答をするように改良することに知識を使用できます。結晶学者は、そうした新素材を識別する「指紋」を確立することもできます。企業がそれを使えば、特許申請する際に、ある新しい物質がユニークな物であることを証明することができます。

実際、結晶学は色々な応用がされています。私たちの日常生活に浸透しており、農業食品や、航空機、自動車、美容、コンピュータ、電気機器、創薬、鉱業など工業分野での新製品の開発は、結晶学で得られた知識に依存するようになっています。その例をいくつか上げてみましょう。

鉱物学はほぼ間違いなく結晶学の最も古い応用分野です。1920年代から、X線結晶学は鉱物や金属中の原子配列を決定する主要な方法でした。実際、私たちが岩石や、地層、地球の歴史について知っていることのほとんど全ては結晶学に基づいています。さらには隕石など宇宙から来た物質についての知識も結晶学によっています。この知識は鉱業や、水、石油、ガスさらには地熱を利用するための掘削技術にも必須のものです。

創薬は結晶学の利用に大きく依存しています。製薬メーカーが特定のバクテリアやウイルスと闘うために新規の薬を探す際、それらがヒトの細胞を攻撃する仕組みに含まれるタンパク質（酵素）をブロックする小さい分子を見つけることが必要です。目的のタンパク質の正確な形を知ることで、そのタンパク質の「活性部位」に結合して、その有害な働きを止める薬剤化合物をデザインすることが可能になります。

薬の固形剤は結晶構造が異なると溶け方も違い、それが薬の効き方に影響します。その区別をするのにも結晶学が必須です。これは、抗HIV薬を強制実施許諾で製造して最貧層にも使用することが出来るようにしている、アジアやアフリカのジェネリック医薬品工業には重要です。

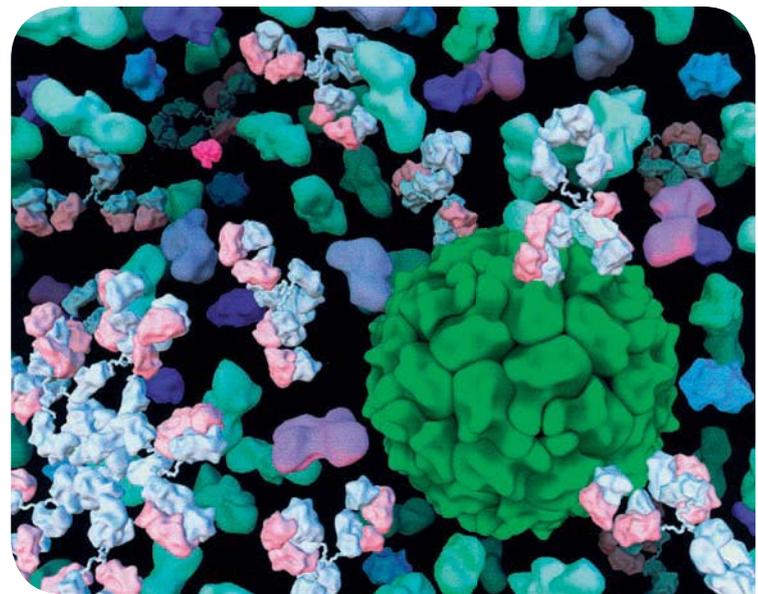
新素材は洗練された衣料の開発に使われています。高性能の布地は、汗をかいたり凍えたりするような天候に合わせて、熱を発散させたり閉じこめたりします。例えば、体温や呼吸、心拍数をモニターするセンサーを備え、着用者の携帯電話に情報を伝える下着も可能です。毒ガスや病原菌、高熱の危険を検知することができる上着をデザインすることもできます。結晶学者はそうした新素材の開発に必要な性質を特定することができるのです。

©Sharee Basinger/
publicdomainpictures.net



今日、結晶学者は液晶を含む多種多様な素材の研究をすることができます。液晶ディスプレイはテレビのフラット画面（上の写真）や、コンピュータ、携帯電話、デジタル時計などに使用されています。液晶そのものは光りませんが、テレビのバックライトなど、他の光源の上に画像を描くことができ、省エネに役立っています。

@ Shutterstock/Andrey_Popov

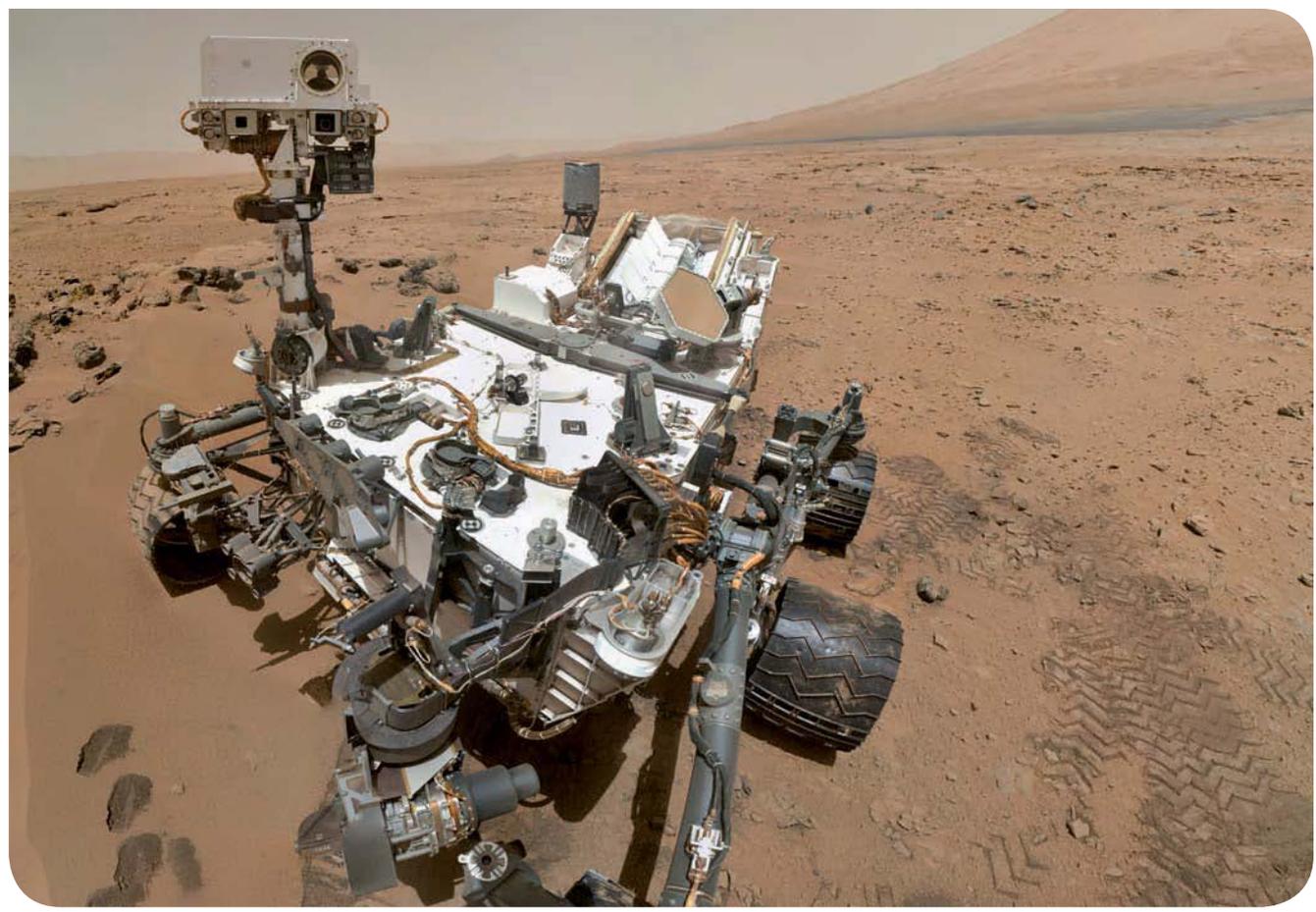


チョコレートのもっとも重要な原料であるココアバターは6種類の違ったかたちで結晶化しますが、そのうちの1種類のみが口溶けが良く、表面に艶があり、パリッとした硬さでチョコレートを美味しくします。しかし、この「おいしい」結晶形はそんなに安定ではありません。光沢が無く、やわらかく、口の中でゆっくりと溶け、舌の上でざらついた砂のような感じを与える、もっと安定な形に変わろうとします。幸いなことに、この変化は遅いのですが、チョコレートを長期間、あるいは暖かい所で保存すると、再結晶して表面に白く薄い被膜が生じてしまいます。チョコレートメーカーは、食通や消費者に受け入れられるただ一つの、最も望ましい結晶形を得るために精緻な結晶化過程を使わなければなりません。
写真: Wikipedia



ウイルスに結合した抗体。結晶学は、抗ウイルス薬を含む薬の大量生産過程で、健康および安全に対する指針が厳密に満たされているかといった品質管理に使われています。
© IUCr

惑星探査機キュリオシティは2012年に火星の土壌サンプルの分析にX線結晶学を使用しました。NASAは探査機に回折計を搭載しました。結果からは、火星の土壌サンプルは、ハワイの火山の風化玄武岩の土壌と似ていることが示唆されました。
写真: NASA



誰が世界結晶年をとりまとめているの？

世界結晶年は、国際結晶学連合 (IUCr) とユネスコが共同でとりまとめています。そしてこれは、国連の中でユネスコが主導する2つの世界年、世界化学年(2011年)を補足し、予定されている世界光年(2015年)の導入となるものです。ユネスコは国際基礎科学計画に沿って、この3つの世界年を実行します。

なぜ今なの？

世界結晶年は、マックス・フォン・ラウエやウィリアム・ヘンリー・ブラッグとウィリアム・ローレンス・ブラッグの業績に始まるX線結晶学の100周年を記念しています。2014年はドロシー・ホジキンがビタミン B12 とペニシリンの研究でノーベル賞を受賞してから50年周年でもあります(3ページの「歴史の概観」参照)。

結晶学は今日の総ての科学を支えています、そのことは一般には比較的知られていません。世界年の一つの目的は、様々な行事を通じて、教育や一般の人々の理解を促進することにあります(裏面の「世界結晶年で誰が恩恵を受けるの」を参照)。

結晶学者は、世界の80カ国以上で活躍しており、その53カ国が国際結晶学連合のメンバーです(地図参照)。国際結晶学連合は、総てのメンバーが情報やデータへの平等にアクセスすることを保証し、国際協力を奨励しています。

より多くの発展途上国が、科学や産業を発展させるための重要な分野での専門知識を得られるようにするためには、結晶学のすそ野を広げる必要があります。これは、今後数十年に持続可能な発展に移行する上で結晶学が中心的な役割を果たすためには緊急の課題です。

国際結晶学連合に加盟している国々



未来への挑戦

2000年、世界各国の政府は国連のミレニアム開発目標を採択しました。それは、いくつかある挑戦のなかで、2015年までに極度の貧困や飢餓を撲滅し、清潔な水利用の増進や安全な公衆衛生を確保し、小児死亡率の低減や妊産婦の健康の改善をするという目標を設定しています。

現在、各国政府は、2015年以降の次の共通の開発課題を決定することになる新たな目標の準備をしています。以下、この課題を進めるのに結晶学がどのように役立つのかの例をいくつか示します。

食料分野での挑戦

世界の人口は、2011年の70億人から、2050年には91億人に増える事が予想されています。人口の急速な増加と食肉や乳製品に依存した食生活の組み合わせによって、食料の需要は、2050年までに70%増加すると考えられています。これは、農業にとっての大きな課題です。

最先端の結晶学の技術は、農業や食料分野の研究も推進しています。結晶学は、例えば土壌の分析に使用されます。土壌の劣化の一つの重要な原因は塩性化で、それは自然に起こるものと、人類の活動によって引き起こされるものがあります。

植物のタンパク質の構造研究は、塩分の多い環境に耐えられる農作物の開発を助けます。

結晶学は、植物や動物の病気の治療法の開発にも貢献します。例えば、トマトなどのつる枯れ病の研究や、鳥インフルエンザを予防するワクチンの開発などです。

さらに、細菌の結晶学的研究は、牛乳や、肉、野菜やその他の植物からの食料生産に重要です。

水に関する挑戦

最近、世界はミレニアム開発目標の、2015年までに安全な飲料水を使えない人を半減にすることを達成しましたが、国連世界水発展報告書（2012年）によると、サハラ以南のアフリカやアラブ地域は取り残されています。基本的な公衆衛生についての目標には手が届いていません。開発途上地域の人口の半分は、いまだにアクセスを欠いています。また、清潔な水の供給と衛生が手に入らない都市部の住民の数は、2000年にミレニアム開発目標が設定されてから20%増加したと推定されています。都市部の人口は、2050年までに、2009年の34億人から63億人に倍増すると予測されています。

結晶学は、例えば、ナノスポンジ(蛇口のろ過器)やナノタブレットなど、数ヶ月浄水に使用可能な新素材を特定したりすることにより、貧しい地域社会の水の品質向上に寄与します。これは、公衆衛生を改善するための環境に優しい方策の開発を助けます。

エネルギー分野での挑戦

エネルギー問題はミレニアム開発目標には無かったのに対して、2015年以降の次の共通の開発課題では重要な焦点であるに違いありません。2011年9月、国連事務総長は「万人のための持続可能なエネルギーを」の取り組みを立ち上げました。それは、化石燃料に強く依存した経済が地球の気候に与える影響についての関心の高まりと、持続可能なエネルギー源への移行を加速する必要性の認識によっています。国際エネルギー機関によると、国際的な金融危機にもかかわらず、二酸化炭素(CO₂)の排出は2008年から2010年の間に5%増えて306億トン増加しました。今世紀の地球の温暖化を2度以内にとどめるためには、エネルギー部門のCO₂排出量は、2020年時点で320億トンを超えてはなりません。

結晶学は、ナノスポンジ(蛇口のろ過器)やナノタブレットなど、数ヶ月間水を浄化できる新素材を特定することができます。
© Shutterstock/S_E



しかし、世界のエネルギー消費は、2007年から2035年にかけて50%増加すると予測されており、増加分の84%は非OECD加盟国が占めます。2009年には、いまだに電気が使用できない人が14億人でした。再生可能資源からのエネルギーの需要は、2035年までに60%増加すると予想されています。

結晶学は、断熱材など、炭酸ガス放出を抑えると同時に家庭でのエネルギー消費（暖房費）を削減する新製品の開発を可能にします。また、ソーラーパネルのコストを下げたり、風車や蓄電池をもっと効率的にしたり、廃棄物を減らしグリーンテクノロジーの利用を改善する新素材を特定することができます。

化学工業のグリーン化

化学工業のグリーン化は世界経済のグリーン化の中心となります。化学工業は、プラスチックから肥料や洗剤、薬品にいたるまで、70,000種類以上のさまざまな製品を製造しています。それは石油に大きく依存しており、それらの製品の80~90%を製造するために、世界の石油生産の10%を消費しています。

加えて、多くの溶媒や触媒には毒性があり、化学廃棄物の処分は複雑で高価です。現在では、有毒で発ガン性のある物質が、大気中や土壌、水中に放出されています。国際連合環境計画によると、2000年には西ヨーロッパで4200万トンの有毒廃棄物が生産され、そのうち500万トンが翌年輸出されています。

結晶学は先進国や途上国での、環境に優しい建設資材の開発に貢献することができます。化学溶剤を、イオン液体とCO₂からなる「グリーンな」無機溶媒で置き換え、汚染を減らすのに役立ちます。必要な物質のみを選択的に抽出する方法に貢献し、鉱業廃棄物や関連コストを削減するのに役立ちます。

健康への挑戦

今後10年間の健康への挑戦は困難な状態が続くでしょう。特に途上国に被害を与えている、HIV（エイズ）、デング熱、マラリアのような世界的な流行病に対する有効なワクチンや治療法はまだありません。

少なくともアフリカで報告された症例の90%と推定されるコレラによる下痢や慢性疾患の住血吸虫症を含む、発展途上国の多くの健康上の問題は、清潔な水や安全衛生へのアクセスの欠如につながっています。

また一方、途上国は先進国と同様な、心臓病や癌、さらには糖尿病などの慢性的な健康上の問題にもさらされています（写真参照）。

豊かな国と貧しい国に同様に影響を与える他の深刻な健康上の懸念は、新たな病原体の出現や既存の治療法に耐性のある細菌の増加を含みます。

結晶学は、例えば抗生物質に対する細菌の耐性獲得に取り組むことができます。ヴェンカトラマン・ラマクリシュナン、トーマス・スタイツとともに、結晶学者アダ・ヨナットはリボソームの構造とそれが抗生物質によって阻害される方法を解明しました。リボソームはヒトや植物、細菌を含む生きた細胞中の総てのタンパク質の生産に関与しています。リボソームの働きが妨げられると、細胞は死滅します。リボソームは抗生物質の重要な標的ですが、抗生物質は、ヒトのリボソームに影響することなく、有害な細菌のリボソームの活性を阻害します。2008年、ヨナット教授はロレアル・ユネスコ女性科学者を受賞し、翌年上記3名でノーベル賞を受賞しました。

特に熱帯地方は、未開拓で残された生物多様性に恵まれています。結晶学は、スキンケアやヘルスケア製品、薬草療法などの開発の目的で、内生植物の特性を識別するのに役立ちます。

誰が世界結晶年の恩恵を受けるのでしょうか？

世界結晶年は各国政府を対象にしています

各国政府に働きかけ、以下のような政策設計に助言します：

- * 各国に少なくとも一つの結晶学センターを設立し運営する資金を調達すること；
- * シンクロトロンなどの大規模な設備を備えた諸外国の結晶学センターとの協力を発展させること；
- * 研究開発での結晶学の使用を助成すること；
- * 結晶学研究を助成すること；
- * 学校や大学のカリキュラムに結晶学を導入し、既存のカリキュラムを最新にすること。

また、一連の地域首脳会議が計画されており、そこでは、世界の一部地域では一流の科学研究を行うことが困難であることを浮き彫りにし、それを克服する方法を確認します。そうした会議では、科学や技術、関連する産業の発展の将来展望を描くために、言語や民族、宗教、政治的要因によって分断されている国々が一堂に会し、そして雇用機会を確認します。

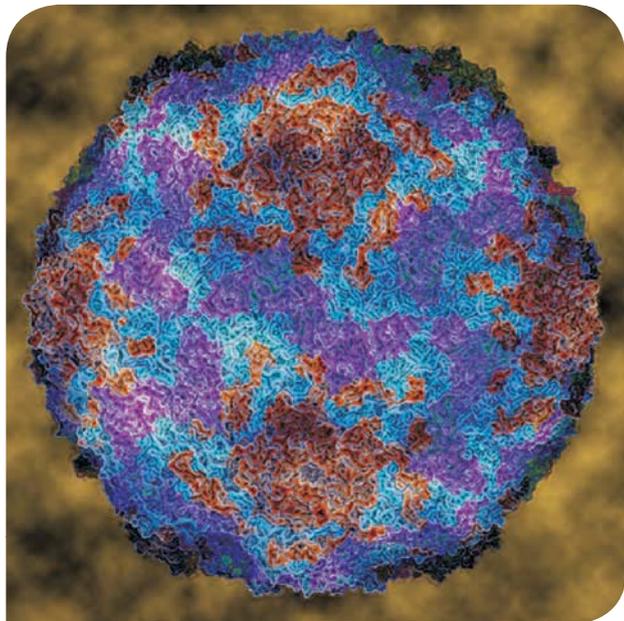
世界結晶年は学校や大学を対象にします

結晶学の教育がまだ実施されていない国々で、それを紹介するために、特に：

- * 回折計がどのように働くかをアジア、アフリカ、ラテンアメリカ諸国で示すために、国際結晶学連合が回折計メーカーと共同で移動研究室を準備；
- * 大学に関してアフリカで進行中の取り組み（次ページのボックス参照）を強化し、結晶学の教育が行われていないアジアやラテンアメリカの国々に拡張；
- * 小中学校での実地体験やコンテストを企画；
- * 小学生のために、結晶学や物理学、化学の知識を使って問題を解決する研究課題を企画；
- * モロッコ結晶学会が主催する、アラブ・イスラム世界の結晶学および幾何学アートの学校や大学での巡回展（12ページのボックス参照）。この展示では、結晶化や、ポータブル回折計を用いてX線回折を実演します。

国際糖尿病連合によると、過去20年間で、世界の糖尿病患者数は3000万人から2億3000万人に増加しました。糖尿病のトップ10カ国中7カ国は、発展途上国や、中国、インドなどの新興国です。カリブ諸国や中東では、成人の約20%が糖尿病を患っています。膵臓で生産される天然のインスリンの構造がX線結晶学によって決定されていなかったら、今日、多くの人を救っている「ヒト型」インスリンの生合成は不可能であったでしょう。
写真: Wikipedia





ウイルスの構造。
関連するタンパク質の構造の知識無しでは薬のデザインはできません。
© IUCr

世界結晶年は一般の人々も対象とします

結晶学が現代科学の多くの技術開発を支えていることだけでなく、文化遺産や美術史における役割についての認知度を高めるために、以下のことを実施します：

- * 国際結晶学連合のメンバーが主催する、市民を対象にした会議。例えば、タンパク質結晶構造の創薬への重要性や、芸術における対称性や結晶学、美術品や古代の素材の結晶学的な解析；
- * 結晶学の有用性やすばらしさを示す展示会の主催；
- * 結晶学の世界経済への貢献を、新聞やテレビその他のメディアへの記事として投稿すること。

アフリカの大学での結晶学の発展



©Serah Kimani

国際結晶学連合の主要な任務の一つは、結晶学の教育と研究方法のトレーニングを、発展途上国の教員や博士過程の学生に提供することです。

国際結晶学連合は、南アフリカの大学と南アフリカ結晶学会と共同して、過去十年間に、英語圏のアフリカ諸国でいくつかのコースを企画しています。こうした相互協力では、ケニアの非常に優秀な2名の学生、セラ・キマニ（写真）とヌドリア・トゥクが南アフリカで博士論文を完成させられるように奨学金を授与しました。セラ・キマニの論文は40もの結晶構造解析結果が含まれています。彼女は2012年にケープタウン大学に就職しました。ヌドリア・トゥクの論文は、農業や園芸で植物の健康増進のための土壌接種に使用される細菌、ロドコッカス・ロドクロウスの結晶学的研究を含みます。2012年の学位取得後、トゥク博士はケープタウン大学の医療生化学科で博士研究員として働いています。

2011年、国際結晶学連合は、サハラ以南のアフリカ諸国のための野心的なプログラムを計画しました。それはアフリカ結晶学構想として知られており、教育スタッフや博士課程の学生を訓練するだけでなく、国際的な研究の実施を可能とするために、1,100万円から2,000万円の回折計を参加大学に提供しています。この試みの重要なパートナーはブルカー・フランス社で、民間企業として、結晶学連合が選別した大学に完璧に動作する回折計を供給することに同意しています。結晶学連合は、各大学に回折計を提供する資金をカバーしています。見返りとして、各大学は回折計を保守し、計算機やX線管などの関連機器のコストをカバーします。

世界結晶年は科学コミュニティも対象とします

南北の連携に重点を置いた世界的な科学者間の連携を促進するために、以下のことを実施します:

- * 結晶学に関するオープンアクセスジャーナル IUCrJ の刊行;
- * ブラジルの施設やユネスコのプロジェクトから生まれた中東の SESAME 施設のような、先進国と途上国の両方の大規模なシンクロトロン放射光施設を含む共同研究 (14ページの写真参照);
- * 大規模施設や結晶学の研究室で収集された全ての回折データを保存するための最良の方法を確定するための協議。



新しいオープンアクセスジャーナルの創刊号の表紙。
www.iucrj.org で読むことができます。

それらの機器の使用法の訓練を受けた最初の学部スタッフはカメルーンのジャング大学から来ました。教員や博士課程の学生は、翌年到着する回折計の使用法を学ぶために、2012年2月に20時間の集中的な教育コースを受講しました。

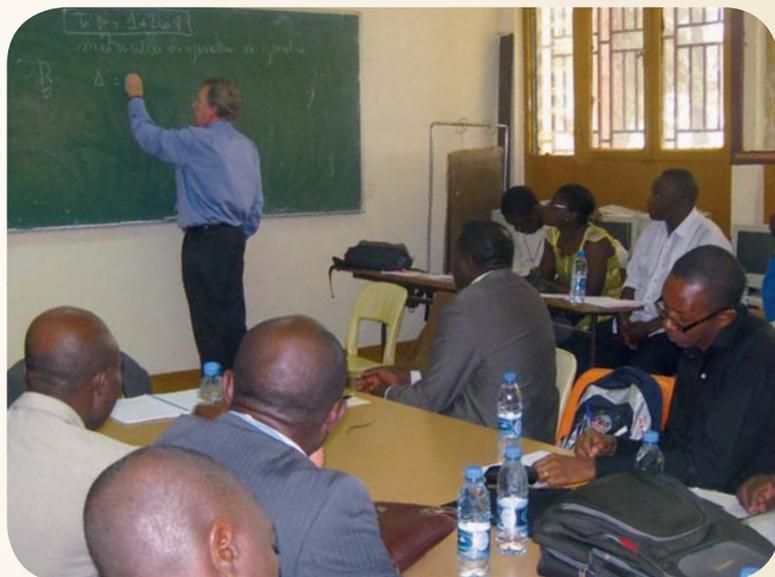
カメルーン結晶学会は、この時に設立されました。この出来たばかりの学会は2013年の4月7日から13日にジャングで最初の講習会を実施しました。この講習会は、結晶構造解析に回折を使用する方法に焦点を当てたもので、カメルーン各地の大学や広い地域から24名の大学教授や博士課程の学生を集めました。国際結晶学連合と、カメルーン結晶学会、ジャング大学、ブルカー社の共同出資です。

この取り組みを次に享受するのは、コートジボワール、ガボン、セネガルです。それぞれの国で、一つの大学が選ばれ、その大学が結晶学の全国センターとして機能して、今度は他の国立大学のスタッフを訓練することが期待されます。それぞれの全国センターは国際結晶学連合の専門出版物へ自由にアクセスすることができます。

国際結晶学連合は結晶学の取り組みをアフリカ大陸全体に広げるために、他のスポンサーを探しています。

世界結晶年は、この取り組みをアジアやラテンアメリカの発展途上国にも広げることを可能にすることも、その目的の一つです。

詳細は:
claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr
にメールして下さい。



クロード・ルコント教授、国際結晶学連合副会長。
2012年2月のカメルーンのジャング大学での結晶学の教育コースでの写真。
© Patrice Kenfack/Cameroon Crystallographic Association

芸術と建築に見られる対称性

人の顔、花や蝶、さらには貝殻のような生きていないものにも、対称性は世界に満ちあふれています。それは人間の文明を魅了し続けてきました。人間の文明は、何千年もの間、芸術や建築に対称性を映しています。

対称性は、カーペットや絨毯、陶器、磁器、スケッチや絵画、詩、彫刻、建築、書道等、全ての人間の創作表現にみられます。例えば漢字にも対称性があります。中国の芸術や建築の対称性は、均衡による調和を追求する中国哲学の現れです。

芸術と建築は、対称性の異なる形を示すことができます。無限に繰り返されるパターンは、並進対称性を持つと言われます。一次元ではフリーズ・ペロー（小壁の飾り彫刻）、二次元ではここに例を挙げた翼を持った動物の絵がそうです。

左右相称の場合、左と右はお互いに鏡像です。自然界での一例を挙げると、蝶がそうです。左右相称は常に建築に共通する特徴でした。歴史的な例としては、インドのタージ・マハル（写真）や、中国の紫禁城、メキシコのチチェン・イツアのマヤの神殿（写真）などがあります。また、絵画においては完璧な対称性は稀ですが、左右相称は芸術に一般的にみられます。

もしもある図が、その中心軸もしくは特定の点を中心に、元の見え方と変わらないように回転することが出来る場合、回転対称性を示すと言います。例えば、エジプトのギザのピラミッドは、4回回転対称性を示しています。イランのロトフォーラー・モスクのドームの内部（写真）は、図の中央にある点を中心に32回回転対称性を示しています。

幾何学模様は、多くの文明の芸術に満ちています。例えば、北アメリカのナバホインディアンの砂の絵画や、南インドのコーラム（写真）、インドネシアのバティック（絞り染め）、オーストラリアのアボリジニやチベットのマンダラなどが、その例です。



ナイジェリアの都市イフェの12世紀のヨルバ人のブロンズ彫刻。
写真: Wikipedia

マウリッツ・コルネリス・エッシャー（オランダ）による
二次元画像 © M.C.エッシャー財団



1648年に完成したインドのタージマハル。ユネスコ世界遺産。
写真: ムハンマド・マハディ・カリム/Wikipedia



紀元600から900年に栄えたメキシコのチチェンイツアのマヤの寺院。
ユネスコ世界遺産。
© S. シュニーガン/UNESCO



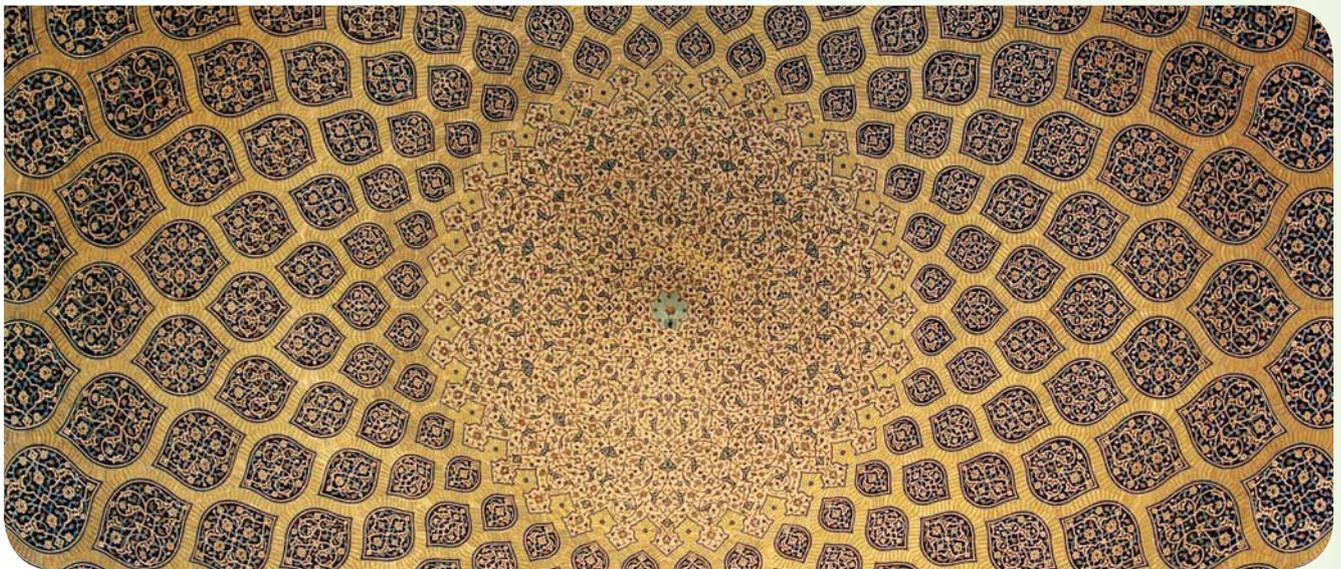
7世紀頃以降のイスラム文明では、精神性を視覚的に科学や芸術と結びつけるために、モザイクや他の芸術様式に幾何学模様を使用していました。イスラムの芸術は20世紀の西欧の幾何学の学派に影響を与えた可能性があり、マウリッツ・コルネリス・エッシャーとブリジット・ライリー（右下図）はそうした2人と考えられます。エッシャーは、スペインにあるムーア人のアルハンブラ宮殿への訪問で触発されたと言われています。

2014年を通じて、モロッコ結晶学会は、アラブ・イスラム世界の結晶学と幾何学アートの巡回展示を開催します。詳細は Abdelmalek Thalal: abdtthalal@gmail.com にメールして下さい。



1618年に完成した、イランのロトゥフオッラー・モスクのドーム型天井。ユネスコ世界遺産。
写真: フィリップ・マイワルド/Wikipedia

タミル・ナードゥのこのコーラム (Kalam) のような模様が、繁栄を願って家々の前に米粉やチョークで描かれています。この模様は毎日描き直されます。 写真: Wikipedia



モロッコのアラバにあるアル-アタリーン・メドレッサ (学校)。世界遺産。1323年から1325年にマリーン朝のスルタン・ウトマーン2世・アブー・サイドによって建てられました。
© A. Thalal



ブリジット・ライリーの「Shadow Play」英国, 1990年。写真: Wikipedia

一次元のフリーズ (小壁)
画像: モロッコ結晶学会

私の国は2014年とそれ以降、 どうやって結晶学を進展させる ことができますか？

知識集約型産業の発展や、原産物に付加価値を付けることに興味を持っている国であれば、結晶学の潜在的な可能性を持っています。世界結晶年を通じて、アフリカや、アラブ地域、ラテンアメリカ、カリブ海地域、アジアの途上国は、それらの国々の国土で大いに結晶学を進展させることができます。

教育と研究を向上させる方策

これまでに見てきたように、結晶学は物理学、化学、材料科学、地質学、生物学、薬学、医学にまたがる学際的な科学です。従って、これらの分野のいずれかの経験を持つ科学者は、潜在的な結晶学者です。国際結晶学連合は、2014年を通じて、国際的な教育や研究協力だけでなく情報や知識へのアクセスを容易にするために、より多くの国がメンバーになることを奨励します。

教育を受けた結晶学者が自分のスキルを駆使するためには、適当な研究インフラを必要とします。ユネスコと国際結晶学連合は、各国政府が、回折計を備えた結晶学センターを少なくとも1ヶ所設立し、持続的な資金を提供することを推奨します。回折計が結晶構造を解析すれば、結晶学センターでは結晶学ソフトウェアを使用して構造モデルを作ることができます。世界結晶年の協賛企業として、回折計メーカーは、購入するための手ごるな価格を保証し、それらの機器を維持するのに必要な地域のトレーニングを提供します。

知識ベースの持続的な発展を推進するためには、各国政府は、そのセンターと国内の大学や産業界だけでなく、世界中の他の結晶学センターとの連携を容易にする政策を準備することが重要です。

中東の SESAME シンクロトロンの実験ホールに完成した放射線遮蔽壁。SESAME はユネスコの後援の下、バーレーン、キプロス、エジプト、イラン、イスラエル、ヨルダン、パキスタン、パレスチナ自治政府、トルコと、日本や米国を含む13のオブザーバー国の結集によってヨルダンに設置された多国政府間のシンクロトロンです。SESAME の建物は2008年に完成しており、2016年の初めまでに実験室もフル稼働する予定です。
© SESAME



政府は、各国の結晶学センターと、ヨルダンの SESAME（写真）のような国内外のシンクロトロン光源の間の連携の発展を促進する必要があります。

結晶学の科学技術の発展の知識を共有し、とりわけ発展途上国の結晶学者の論文の認知度を上げるため、国際結晶学連合は結晶学に関するオープンアクセスジャーナル IUCrJ を刊行しています（11ページの写真参照）。

ユネスコと国際結晶学連合は、各国政府に対して、結晶学的実験の教育・訓練を行う地域的・準地域的な拠点の設置を推奨しています。能力構築を制度化するための資源を合理化するためです。

明日の結晶学者を訓練すること

今が、各国が必要不可欠な結晶学者を訓練するべき時です。政府は、結晶学と物理学および化学、生物学、地質学とのより良い関係を育むことで学校や大学のカリキュラムを近代化する対策を講じることができます。ユネスコと国際結晶学連合は、各国政府に、カリキュラム開発の指針を提供します。

ユネスコと国際結晶学連合は、若者のために特別にデザインされた、結晶学に関する移動実験室に関心を寄せるように、各国政府を勧誘します。

国際結晶学連合は、問題解決のプロジェクトや、結晶学、物理、化学の知識を使う学校の競技を考案しました。目的は、農業や、薬剤設計、「グリーン」な新素材などの開発の発展のためにそれらの科学の実用化を実証することです。国は、国家レベルでこのような大会を組織することに関心を表明する為に勧誘されています。



世界結晶年に参加すること

ユネスコの195の加盟国は、2014年に自国でも一緒に世界結晶年に関する行事を行うために、国際基礎科学プログラム (IBSP) または国際結晶学連合にコンタクトするように勧められています。

国際結晶学連合

Prof. Gautam Desiraju,
President: desiraju@sscu.iisc.ernet.in

Prof. Claude Lecomte,
Vice-President: claude.lecomte@crm2.uhp-nancy.fr

Dr Michele Zema,
Project Manager for the Year: mz@iucr.org

ユネスコ

Prof. Maciej Nalecz, Director,
Executive Secretary of International Basic Sciences
Programme: m.nalecz@unesco.org

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga, Assistant Programme
Specialist: jj.ngome-abiaga@unesco.org

Dr Ahmed Fahmi,
Programme Specialist: a.fahmi@unesco.org



結晶学は、航空機の製造に使用される合金中のアルミニウムとマグネシウムの理想的な組み合わせを決定するのに役立ちます。アルミニウムが多すぎると飛行機は重くなり、マグネシウムが多すぎると燃えやすくなります。

© Shutterstock/IM_photo

世界結晶年の行事プログラムや関連する教育資料は、公式ホームページで入手できます：

www.iycr2014.org

世界結晶年についてのさらに詳しい情報は：

国際結晶学連合 (IUCr)

Prof. Gautam Desiraju,
President: desiraju@sscu.iisc.ernet.in

Prof. Claude Lecomte,
Vice-President: claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr

Dr Michele Zema,
Project Manager for the Year: mz@iucr.org

ユネスコ (UNESCO)

Prof. Maciej Nalecz, Director,
Executive Secretary of International Basic Sciences
Programme: m.nalecz@unesco.org

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga,
Assistant Programme Specialist: jj.ngome-abiaga@unesco.org

Dr Ahmed Fahmi,
Programme Specialist: a.fahmi@unesco.org

www.iycr2014.org

