

化学Ⅱ

2013年10月～2014年2月

水曜日1時間目121M講義室

第1回 10月2日

第5章 結晶の構造

結晶構造, 単位格子, 金属結晶

担当教員: 福井大学大学院工学研究科生物応用化学専攻

教授 前田史郎

E-mail: smaeda@u-fukui.ac.jp

URL: <http://acbio2.acbio.u-fukui.ac.jp/phychem/maeda/kougi>

教科書: 乾ら, 「化学, 物質の構造・性質および反応」

前田は前半を担当し5・6章を解説する

1

化学Ⅰの内容に引き続き, 以下項目を講義し, 第8回目に中間テスト, 第16回目に期末テストを実施する。

担当教員: 前田史郎

第1回 単位格子, 金属結晶

第2回 共有結晶, 分子結晶

第3回 格子欠陥, 半導体

第4回 気体(気体分子運動論, 気体の液化)

第5回 液体, 固体—気体平衡と状態変化

第6回 自由エネルギー, エンタルピーおよびエントロピー

第7回 溶液(非電解質溶液, 電解質溶液)

第8回 中間テスト

担当教員: 久田研次

第9回 化学平衡(1)—平衡状態—

第10回 化学平衡(2)—酸と塩基—

第11回 酸化と還元(1)—可逆電池と可逆電極—

第12回 酸化と還元(2)—電池の起電力と平衡定数—

第13回 化学反応(1)—化学反応の種類—

第14回 化学反応(2)—反応速度と温度—

第15回 化学反応(3)—連鎖反応—

第16回 期末テスト

出席について

前半7回は、出席管理システムを利用しますので、学生証を忘れずに持って来て、授業開始前にカードリーダーに通して下さい。出席管理システムと授業終了前の小テストの両方で出席を確認します。45分～60分の遅刻は2回で1回の欠席とする。60分以上の遅刻は欠席とする。

評価の方法

評価は、試験と演習(もしくはレポート)によって行う。

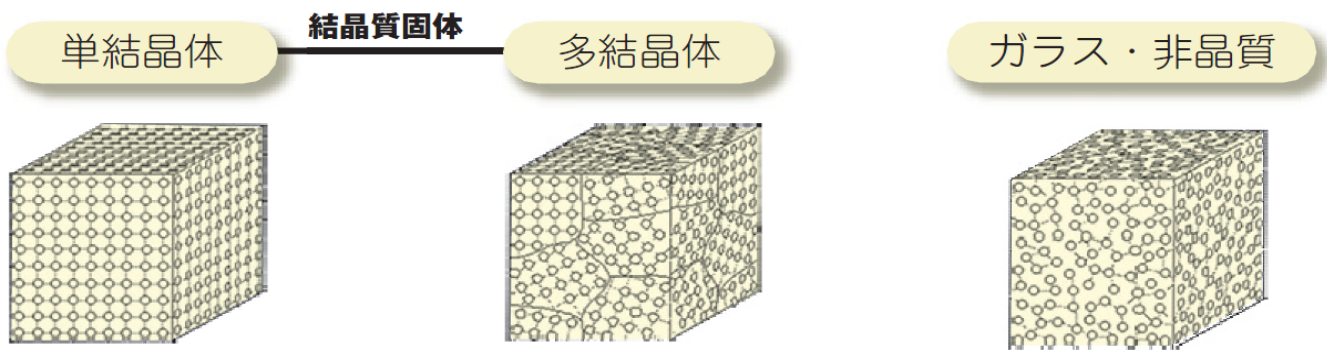
評価に占める出席の割合: 当然なので評価しないが、5回欠席すると大学の規定により不可。

評価に占める試験の割合: 100% (中間 50%, 期末50%)

第5章 結晶の構造

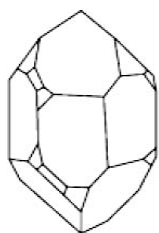
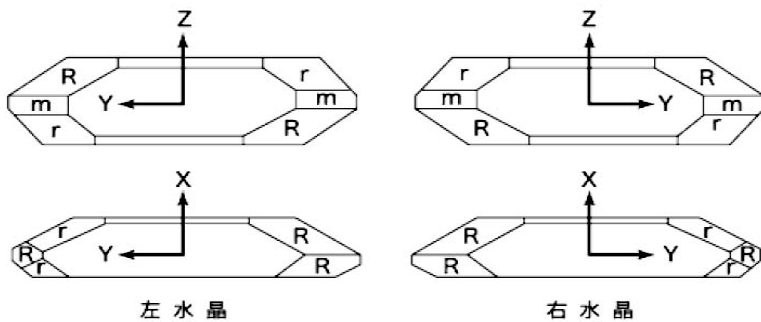
固体では、多くの場合それを構成する原子、分子あるいはイオンなどの粒子が規則正しく配列している。そのため外形も固有の角度で交わる面によって取り囲まれている場合が多い。このような固体を結晶という。このほか、固体には結晶と違って規則正しい粒子の配列の見られない非結晶性固体(ガラス、プラスチックなど)もあるが、本章では各種の代表的な結晶に焦点を合わせて学ぶ。

結晶と非晶性固体

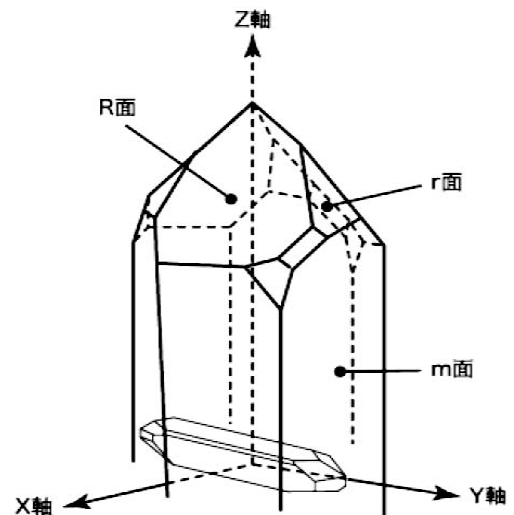
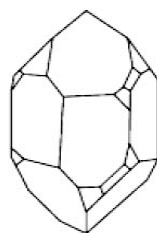


- 「**ガラス・非晶質(アモルファス)**」: 原子の並びが、周期性や広い範囲での規則性をもたない固体。
- 「**結晶質固体**」: 原子が、広い範囲を規則正しく一定の周期で配列している固体。単結晶体と多結晶体があります。
 - 単結晶体**: 端から端まで、構成原子が規則正しく並んでいる固体。
 - 多結晶体**: 細かい単結晶の粒が集まってできている固体。粉体を焼き固めることによってできる多結晶体は、特に「**焼結体**」と呼ばれる(セラミックス)。

二酸化ケイ素 (SiO₂) の結晶(crystal quartz): 右水晶と左水晶



人工、天然の右水晶と左水晶



人工水晶と天然水晶の関係

http://www.ndk.com/jp/products/app/sq_001.html

日本電波工業(株)ホームページ

人工水晶は一般に右水晶が
用いられる。

5.1 結晶構造の研究法

原子やイオンは結晶内部の空間で規則正しく所定の位置，すなわち格子点を占めている。格子点の集団は無数の原子網目を形成せいでおり，また立体的に格子点の集団を見るとそれぞれ特有の空間格子を作っている。これはX線結晶構造解析で明らかにされる。

結晶にX線を照射すると，結晶内部の規則的な原子の配列によって，X線はそのまま直進したり回折されたりする。回折された結果を写真フィルムにとると，その結晶特有のパターンを持った斑点が得られる。斑点が現れる角度から，次のBragg式によって平行な原子網面間の距離が求まる。

$$n\lambda = 2d\sin \theta$$

ここで， n は正の整数， λ はX線の波長， θ は視射角， d は平行原子網面間の垂直距離である。

波の干渉

波の特性は互いに干渉し合うことである。同じ波長の波の位相が揃っていると強め合う干渉を起こし，位相がずれていると弱め合う干渉を起こす。

回折の現象は，波の通路にある物体によって引き起こされる現象であって，それから生じる強度変化の模様を回折図形という。回折は，回折を起こす対象物の大きさが放射線の波長と同じくらい有的时候に起こる。

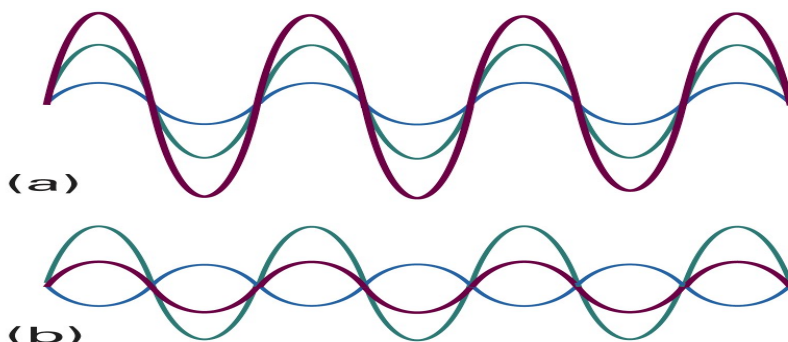
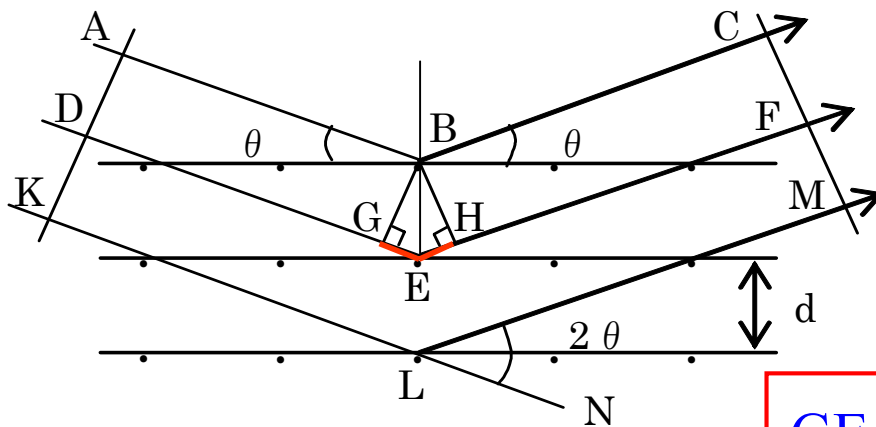


Figure 20-13
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

同じ波長の2つの波の干渉：(a)強め合う干渉，(b)弱め合う干渉

ブラッグの法則

隣接する2枚の格子面による同じ波長の2本の平行光線の反射を考えよう. 2本の光線の正味の光路長は距離**GE+EH**だけ異なる. 光路長が波長の整数倍のとき, 波の位相が揃って強め合う干渉を起こす.



$$GE+EH=2d\sin\theta$$

X線回折の原理

BG, BH は, B から DE, EF に下した垂線

9

Braggの回折条件 (X線回折におけるBraggの条件)

散乱X線が強め合う条件は,

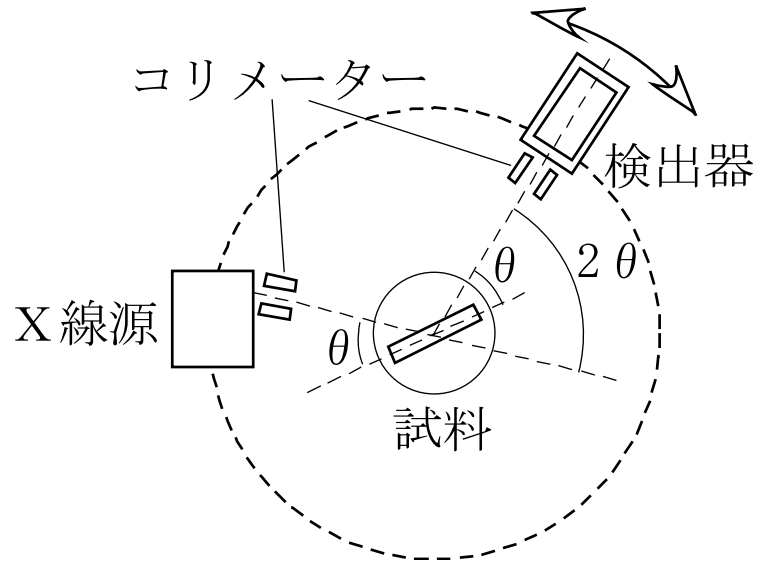
“X線の行路差(光路差) = X線の波長の整数倍”

$$\text{行路差 } GE+EH=2d\sin\theta \cdots \textcircled{1}$$

入射X線の波長を λ とすると, ①式より

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (n \text{ は正整数, 回折の次数})$$

10



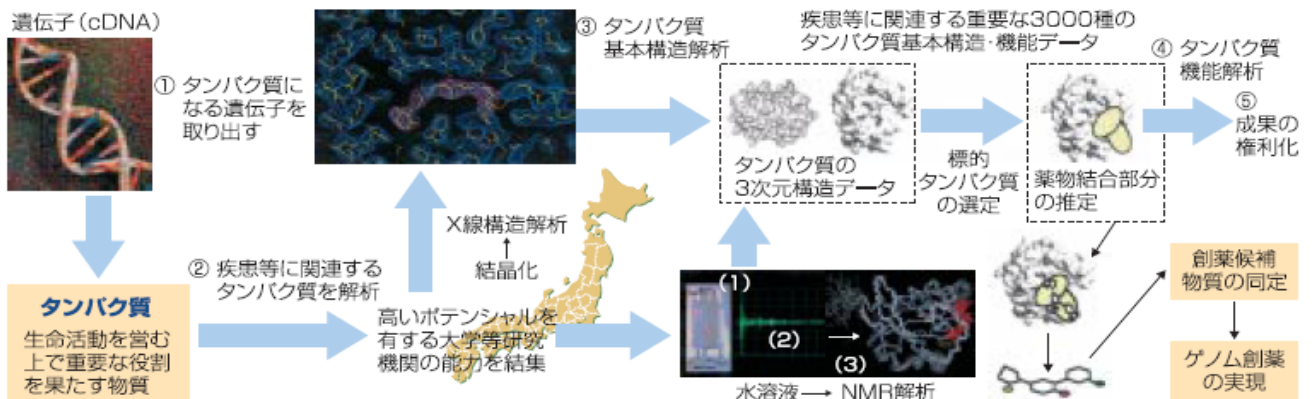
XRD (X-ray diffraction, X線回折) 装置と装置模式図

タンパク3000プロジェクト

<http://www.mext-life.jp/protein/>

プロジェクトの概要と目的

わが国発のゲノム創薬の実現等を目指し、世界最先端設備（NMR、大型放射光施設等）を駆使し、産官学の研究能力を集集して平成18年度までに生命を司るのに重要なタンパク質のうち1/3に相当する約3000種類以上のタンパク質の基本構造およびその機能の解析を行う。それに基づく薬剤設計や解析結果の特許化等を図ることにより、わが国発のバイオテクノロジーを駆使するゲノム創薬の実現に貢献し、ひいては医薬品生産額の増加や国際協力の強化等によりわが国の経済発展に資する。



2002－2006年の5年間に約600億円の研究費が投じられた。



タンパク質研究が切り拓く世界

文部科学省タンパク質関連研究プロジェクト紹介

タンパク質3000プロジェクト
ターゲットタンパク質研究プログラム

数字で見るタンパク質3000プロジェクトの成果

構造解析されたタンパク質の数 (基本構造として)	4517 4187)
PDB登録数	3923
出願特許数	403
発表論文数	4195

平成19年3月31日時点のデータ



GatA (青色の部分) でつくられたアンモニアが、オレンジ色の通路を通してGatB (緑色の部分) に達し、グルタミン酸に結合する。



この酵素は、2つの分子(青色と緑色)が会合して存在している。図の下側に延びた長い1本のαヘリックスで膜に結合しており、酵素反応は分子の上側で行われる。黄色の球で示したのは補酵素で、赤色の球で示したのは阻害物質。

平成19年度から23年度

プロジェクトの予算

平成14年度から18年度までに総額約580億円の予算が投じられました。

平成14年度	平成14年度補正	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	合計
118億円	91億円	91億円	91億円	98億円	86億円	約580億円

平成19年度	平成20年度
55億円	52億円

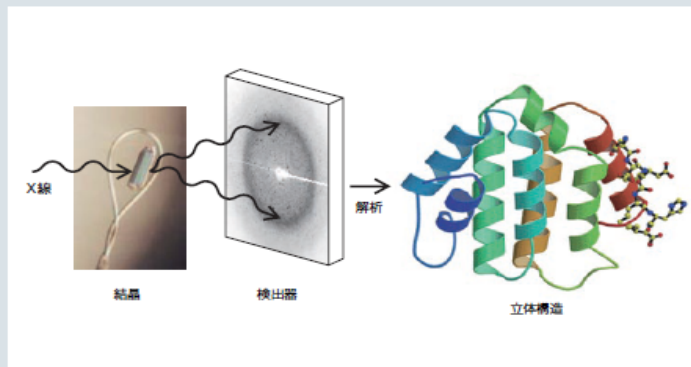
タンパク質の構造を調べる方法

1個のタンパク質分子はとても小さく、1mmの1万分の1以下という大きさです。このため、普通の顕微鏡で観察しても、その構造は見えません。タンパク質の構造を調べる

ために、おもに使われるのは、「X線結晶構造解析」と「NMR(核磁気共鳴)」という方法です。最近では、「単粒子構造解析」という手法も利用されています。

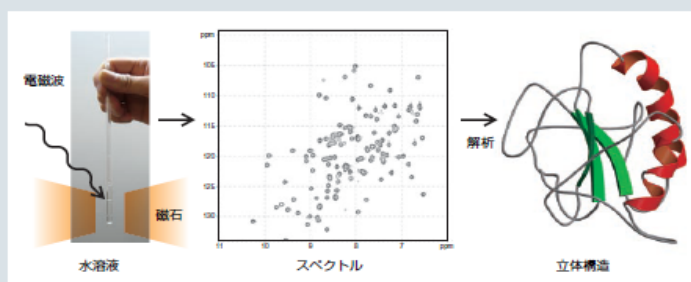
X線結晶構造解析

レントゲンでおなじみのX線を使う方法です。たくさんのタンパク質分子がきちんと詰まった結晶をつくり、それに強いX線をあてると、X線はいくつかの決まった方向に曲げられ(これを「回折」と言います)、スポットが並んだパターンを検出器に描き出します。このパターンは、結晶の中のタンパク質分子の構造を反映しているので、このパターンを解析すると、タンパク質の構造を得ることができます。



NMR(核磁気共鳴)

NMR(核磁気共鳴)は、原子核が極微の磁石のような性質をもつことを利用する方法です。とても強い磁場の中にタンパク質の水溶液を置き、電磁波をあてると、タンパク質分子をつくっている原子の原子核から信号が得られます。この信号を解析すると、原子同士の位置関係がわかり、タンパク質の構造が得られます。



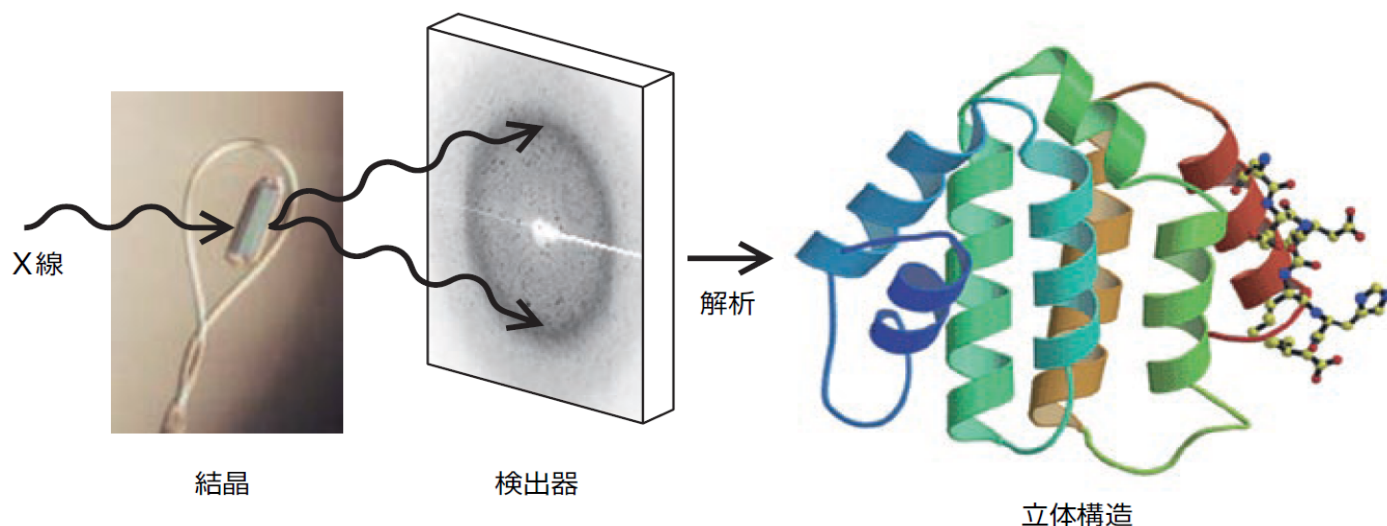
文科省タンパク質関連プロジェクト紹介パンフレットより

タンパク質の構造を調べる方法

文科省タンパク質関連プロジェクト紹介パンフレットより

(1) X線結晶構造解析

タンパク質結晶のX線回折パターンを解析する。



15

X線結晶構造解析



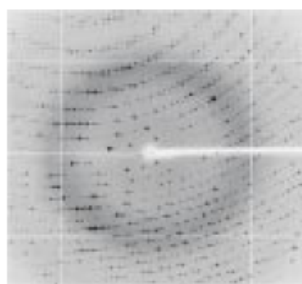
① タンパク質結晶



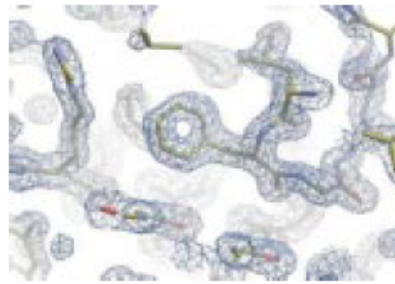
X線結晶構造解析では、

- ① まず遺伝子操作や生化学的な手法を駆使して目的とするタンパク質を大量に調整して結晶化する。この結晶化が構造解析の律速段階となることが多い。
- ② 作成した結晶にX線を照射して回折パターンを得る。このとき、大強度のX線を用いると小さな結晶でも鮮明な回折パターンが得られる。
- ③ 得られた回折パターンと結晶内のラベル原子からの位相情報をもとにタンパク質の電子密度図を得る。
- ④ その電子密度図に化学構造モデルをあてはめ、タンパク質全体の構造モデルを構築する。

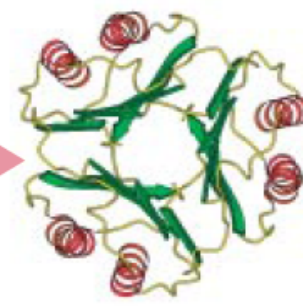
【特徴】 X線結晶構造解析には結晶が必須だが、タンパク質の大きさに制限がなく、構造を原子レベルで直接みられる。



② X線回折パターン



③ 電子密度図



④ 構造モデル

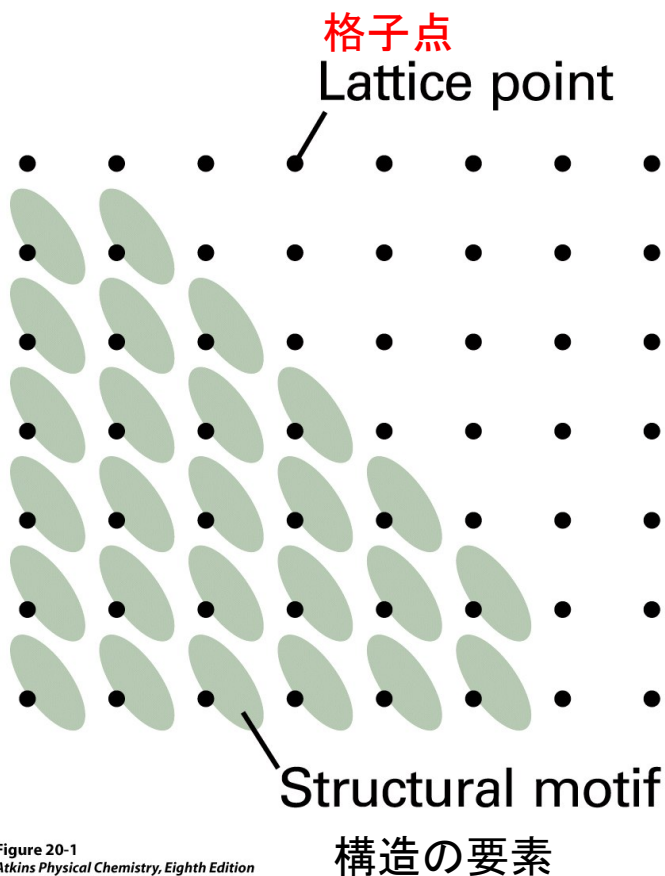
16

5.2 単位格子

格子と単位胞

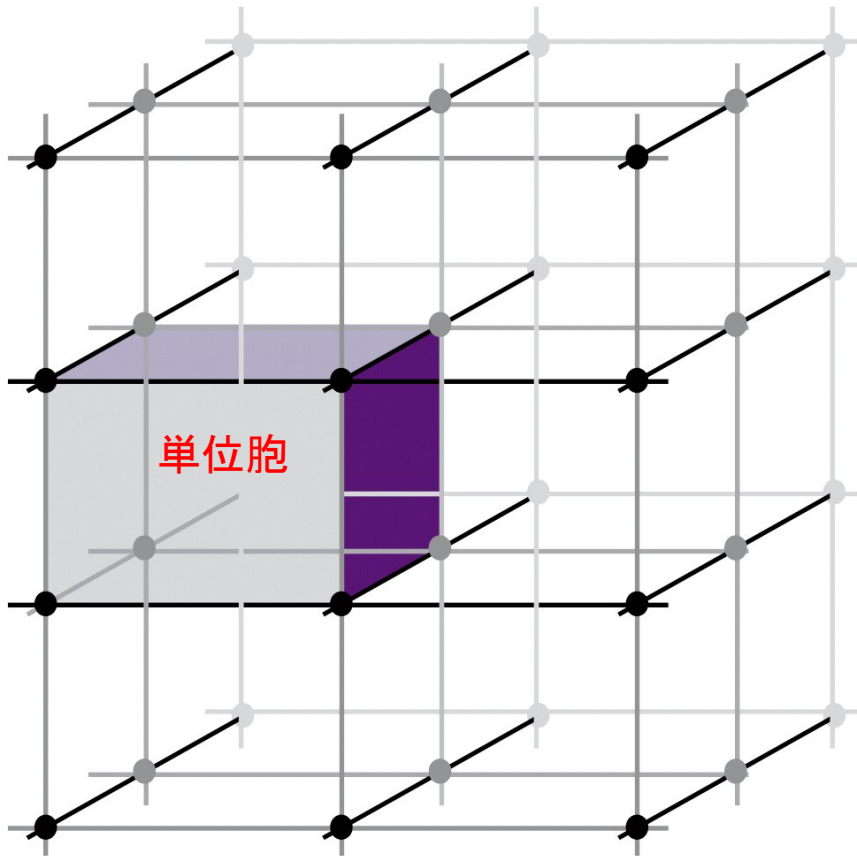
結晶は規則的に繰り返す“構造の要素”からできていて、この構造の要素は原子であったり、分子であったり、原子、分子、あるいはイオンの集団であったりする。空間格子は、これらの図形的位置を表す点で構成される図形である。空間格子は、結晶構造を調べるための抽象的な骨組みである。空間格子は点が三次元的に無限に配列したものであり、これらの点はそれぞれ隣接する点によって全く同じ仕方で囲まれていて、結晶の基本構造を決めている。

17



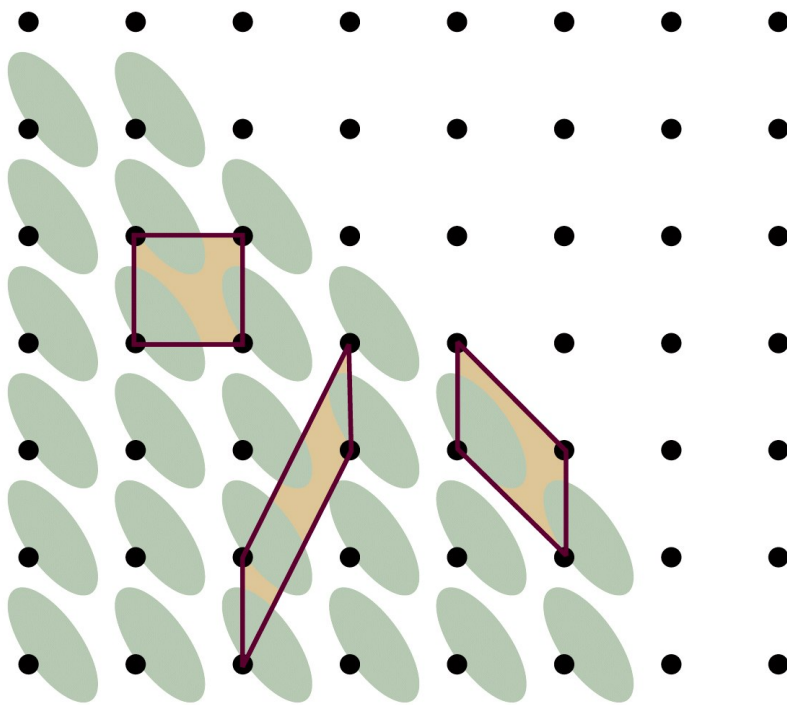
各格子点は、構造の要素(たとえば、分子あるいは分子の集合)を指定する。結晶構造は格子点が並んだものである。

18



単位胞は平行四辺形の形をしていて(直角である必要はない), それから並進だけを使って結晶構造全体を作り上げることができる.

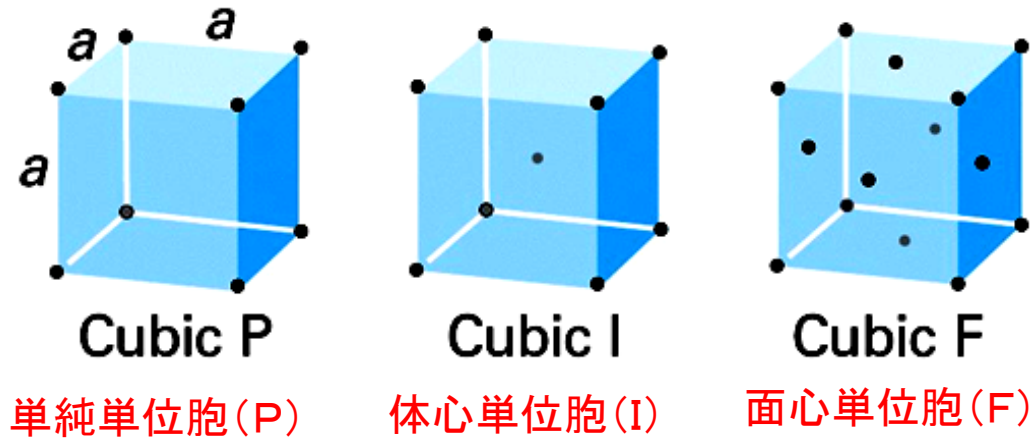
Figure 20-2
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula



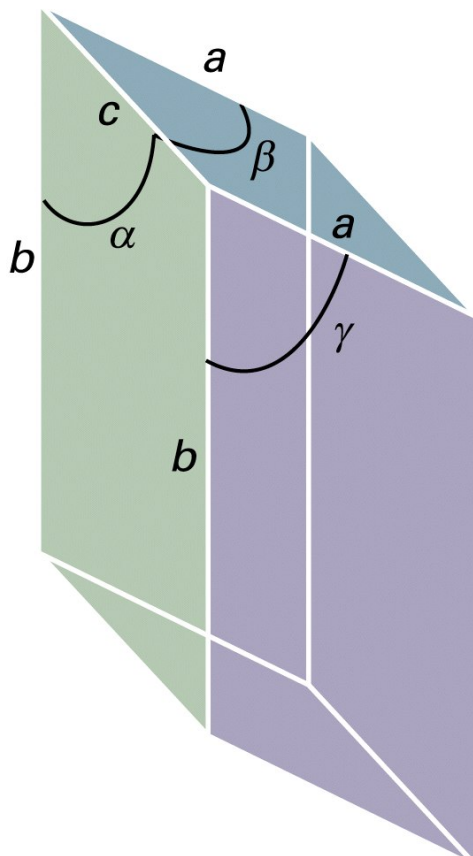
単位胞は, ここに示したようにいろいろな仕方を選ぶ. 格子のすべての対称を表す単位胞を選ぶ約束になっている. この図の直角格子では, 直角の単位胞を採用するのが普通である.

Figure 20-3
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

単位胞は仮想的な平行六面体(平行な面からなる図形)であって、並進によって繰り返される図形の一単位を含む。単位胞は、(壁を構成するレンガのような)基本的な単位であって、これから並進の変位だけによって結晶全体が形成されるものと考えることができる。単位胞は、ふつつ隣り合う格子点を直線で結んでつくる。このような単位胞を**単純単位胞**という。場合によっては、中心に格子点がある(**体心単位胞**)、または二つの相対する面上にも格子点がある(**面心単位胞**)。



21



無限個の異なる単位胞によって同じ格子を示すことができるが、ふつつは**辺が最も短く、また辺同士が互いにできるだけ垂直に近くなるものを選ぶ**。単位胞の辺の長さを a, b, c で表し、それらの間の角度を α, β, γ で表す。

単位胞の辺と角度の表し方。角度 α は b 軸と c 軸がなす角度である。

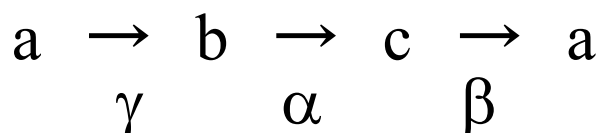


Figure 20-4
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

22

七つの結晶系

単位胞は、回転対称性に注目して、七つの結晶系に分類される。

三斜晶系

三方(菱面)晶系

立方晶系

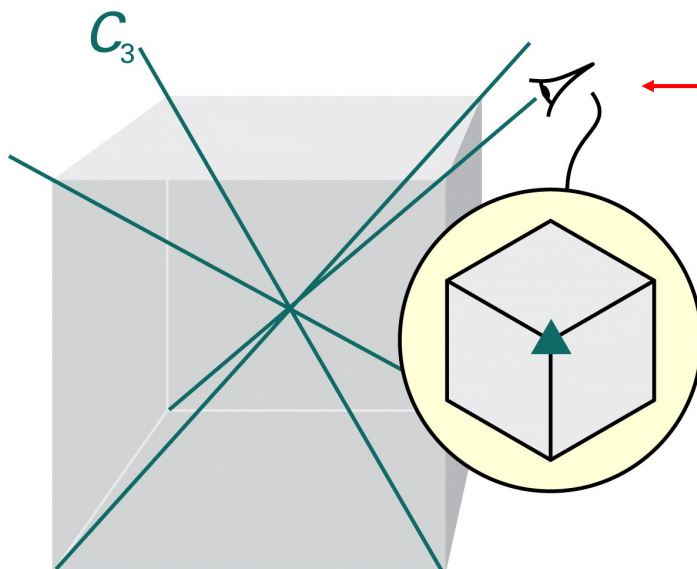
単斜晶系

正方晶系

斜方晶系

六方晶系

23



この不思議な図形は人の“目”です。立方体の頂点から、相対する頂点へ結んだ直線が3回回転軸、つまり120度($360/3=120$)回転させると元の図形と重なる軸です。

Figure 20-5
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

立方晶系に属する単位胞には、正四面体的に配列した4本の3回回転軸がある。3回軸を C_3 で表す。挿入図は3回対称を表す。

24

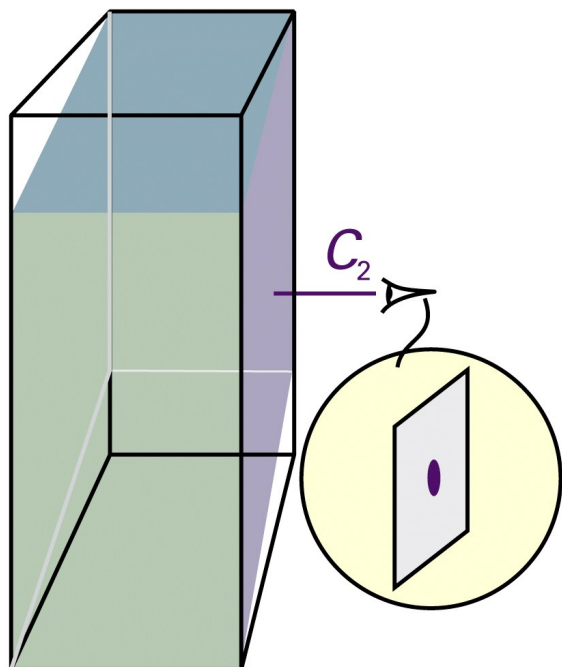


Figure 20-6
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

単斜晶系に属する単位胞は、
2回回転軸を1本持つ。

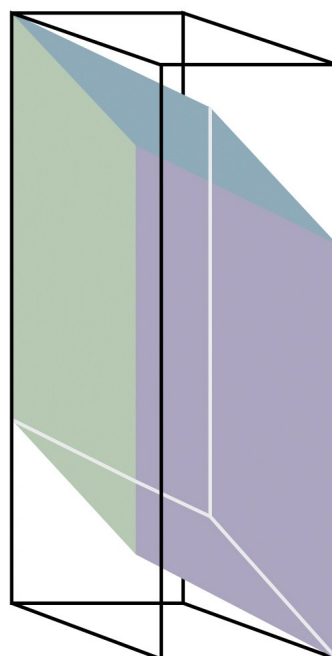


Figure 20-7
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

三斜晶系に属する単位胞は、
回転対称性をもっていない。

ブラベ格子

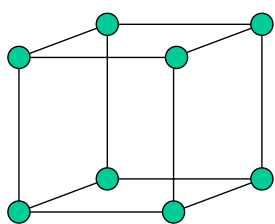
三次元では、7つの結晶系と4つの単位胞の組み合わせによる異なる空間格子は14個(ブラベ格子)しかない。

単純単位胞(P)は頂点にだけ格子点を持つ。

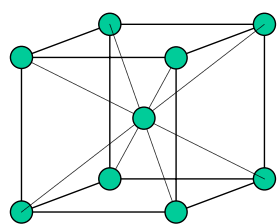
体心単位胞(I)は、その中心にも格子点を持つ。

面心単位胞(F)は、頂点と六つの面の中心に格子点を持つ。

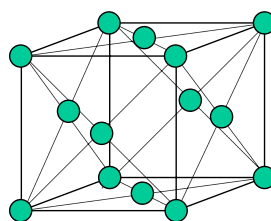
底面心単位胞(A, BまたはC)は頂点と二つの相対する面の中心に格子点を持つ。



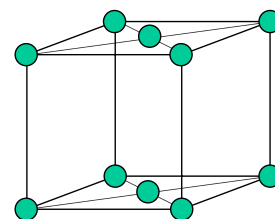
単純単位胞



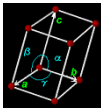
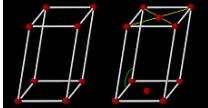
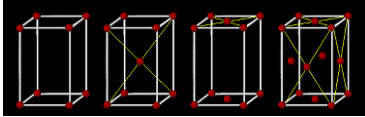
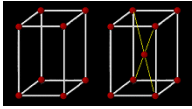
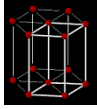
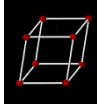
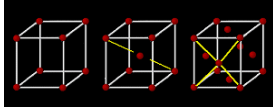
体心単位胞



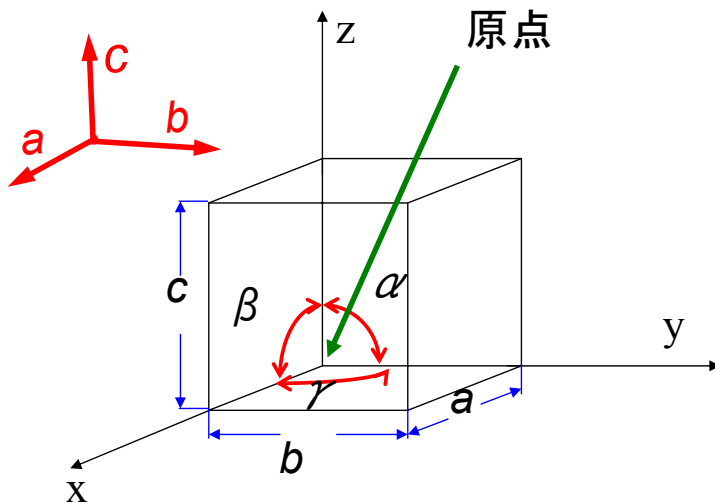
面心単位胞



底心単位胞

結晶系	格子軸の特徴	対称性 (右図の左から順に)	ブラベ単位格子
三斜晶系 Triclinic	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ 単純	単純格子	
単斜晶系 Monoclinic	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$ 単純+底心	単純格子 底心格子	
斜方晶系 Orthorhombic	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 単純+底心 +面心+体心	単純格子 体心格子 底心格子 面心格子	
正方晶系 Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 単純+体心	単純格子 体心格子	
六方晶系 Hexagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ 単純	単純格子	
三方晶系 (菱面体晶系) Rhombohedral (Trigonal)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma < 120^\circ \neq 90^\circ$ 単純	単純格子	
立方晶系 Cubic	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 単純+体心+面心	単純格子 体心格子 面心格子	

単位格子:
3つの長さ(a, b, c)と
3つの角度(α, β, γ)で規定される



$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ \Rightarrow$ 立方晶
 $a \neq b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ \Rightarrow$ 正方晶
 $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ \Rightarrow$ 斜方晶

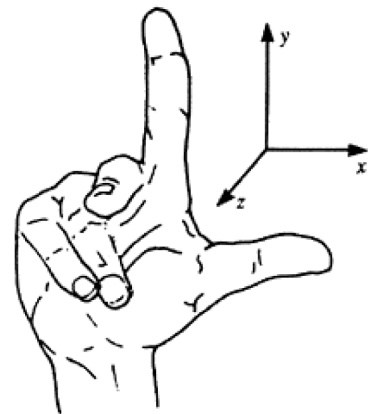


FIGURE 1.28 The right-handed rule for labelling axes.

通常, 右手系座標を用いる

SOLID STATE CHEMISTRY, L. E. Smart and E. A. Moore, CRC Press, 2005.

7晶系と14種類のブラベ格子

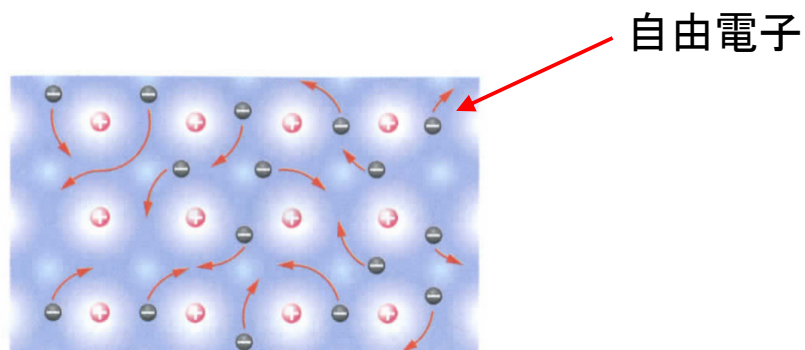
晶系	単位胞	対称	格子定数と角度
立方晶系	P, I, F	C_3 軸4本	$a=b=c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
正方晶系	P, I	C_4 軸1本	$a=b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
斜方晶系	P, C, I, F	C_2 軸3本	$a \neq b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
単斜晶系	P, C	C_2 軸1本	$a \neq b \neq c, \alpha=\gamma=90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
三斜晶系	P	なし	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \gamma \neq \beta \neq 90^\circ$
六方晶系	P	C_6 軸1本	$a=b \neq c, \alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$
三方晶系	P(R)	C_3 軸1本	$a=b=c, \alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$

P: 単純格子
 I: 体心格子
 F: 面心格子
 C: 底心格子

29

5, 4 金属結晶

金属結晶の格子点は最外殻電子を失った金属原子の陽イオンで占められ、最外殻電子は特定の原子間にとどまらず、広く結晶全体を自由に動き回って陽イオンどうしを結びつけている。金属結合は共有結合の特殊な形と考えることができる。通常の共有結合と異なるのは、無数の原子が結合していることと、結合にかかわる電子が特定の原子間に存在するのではなく、多数の原子内に共有されており、自由に動ける(自由電子)という点である。

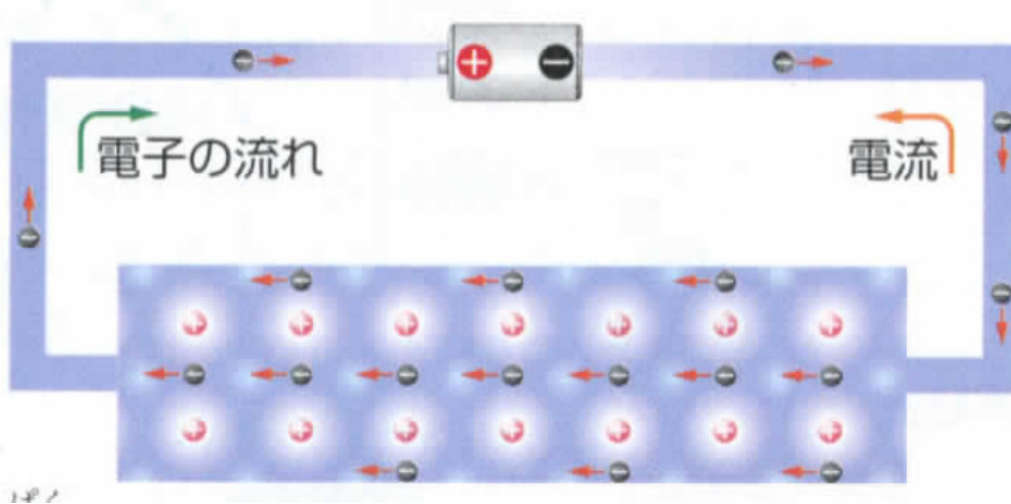


●は自由電子を表し、金属全体を移動する。

図 30 金属中の結合

30

金属線に電圧をかけると自由電子は電源装置の+極に引っ張られて移動する。金属線を流れる電流は、この自由電子の移動である。電子の流れの方向と電流の方向が逆になっているのは、電子が発見される前に、フランクリンが「正電気と負電気」を定義したからである。



31

金属結晶

ほとんどの金属元素は、結晶化して三つの単純な形のうちの一つになり、そのうちの二つは、剛体球ができるだけ最密な並列になるように充填するという観点から説明できる。

(a) 最密充填

- (1) 立方最密充填 (ccp : cubic close-packed)
- (2) 六方最密充填 (hcp : hexagonal close-packed)

(b) 充填率の低い構造

- (3) 体心立方 (bcc : body centered packed)

元素の結晶構造の例

Table 20.2 The crystal structures of some elements

Structure	Element
hcp*	Be, Cd, Co, He, Mg, Sc, Ti, Zn
fcc* (ccp, cubic F)	Ag, Al, Ar, Au, Ca, Cu, Kr, Ne, Ni, Pd, Pb, Pt, Rh, Rn, Sr, Xe
bcc (cubic I)	Ba, Cs, Cr, Fe, K, Li, Mn, Mo, Rb, Na, Ta, W, V
cubic P	Po

* Close-packed structures.

Table 20-2
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

六方最密充填・・・アルカリ土類金属 (Be, Mg) ・12属
金属 (Zn, Cdなど)

立方最密充填・・・遷移金属 (Au, Ag, Cuなど)

体心立方・・・アルカリ金属 (Na, Kなど)

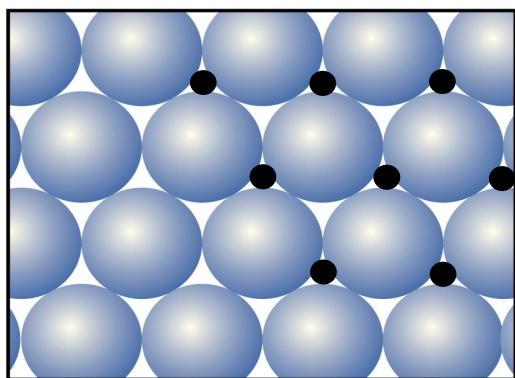


Figure 20-32
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

最密充填球第1層A

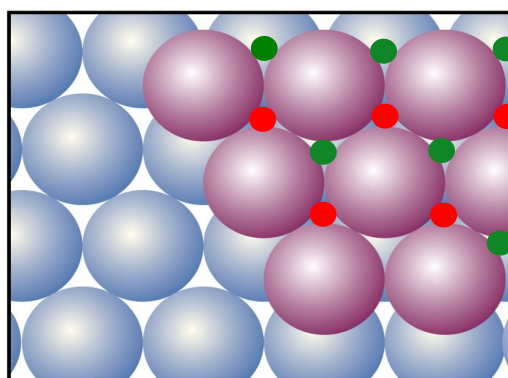
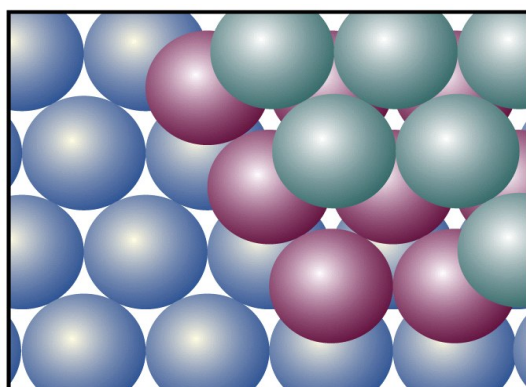


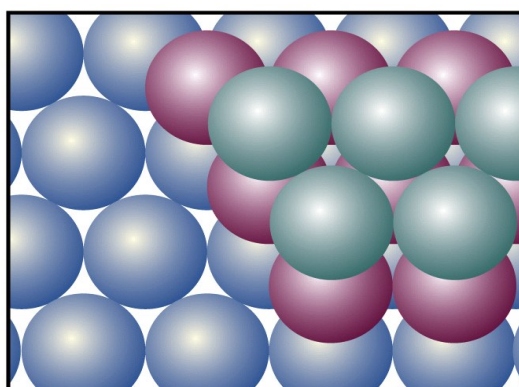
Figure 20-33
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

最密充填球第2層AB

3層目は
●と
●の上に乗る2
通りがある。
●の下には
球がある。
●の下は隙間。

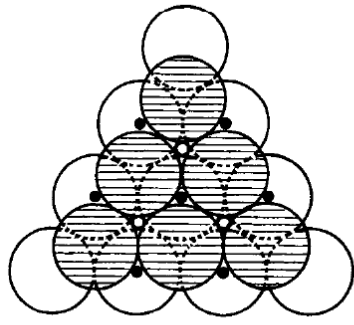


(a) 最密充填球第3層ABA

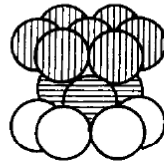


(b) 最密充填球第3層ABC

Figure 20-34
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

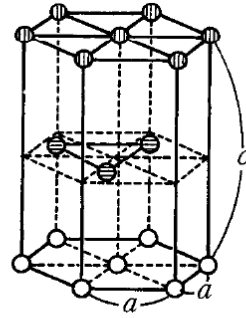


(a)
2段目までは同じ

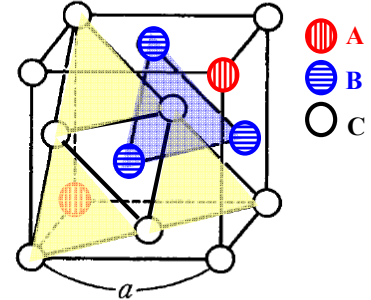
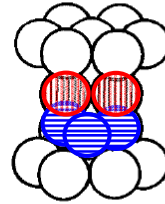
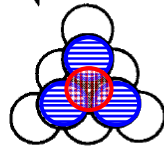


(b) 六方最密充填(3段目が●の上に来た場合) (A,B,A,B,...)
(3段目の位置は1段目の真上である)

どちらの場合も充填率74.1%



- C ○ : 1段目
- B ● (horizontal lines) : 2段目
- A ● (vertical lines) : 3段目

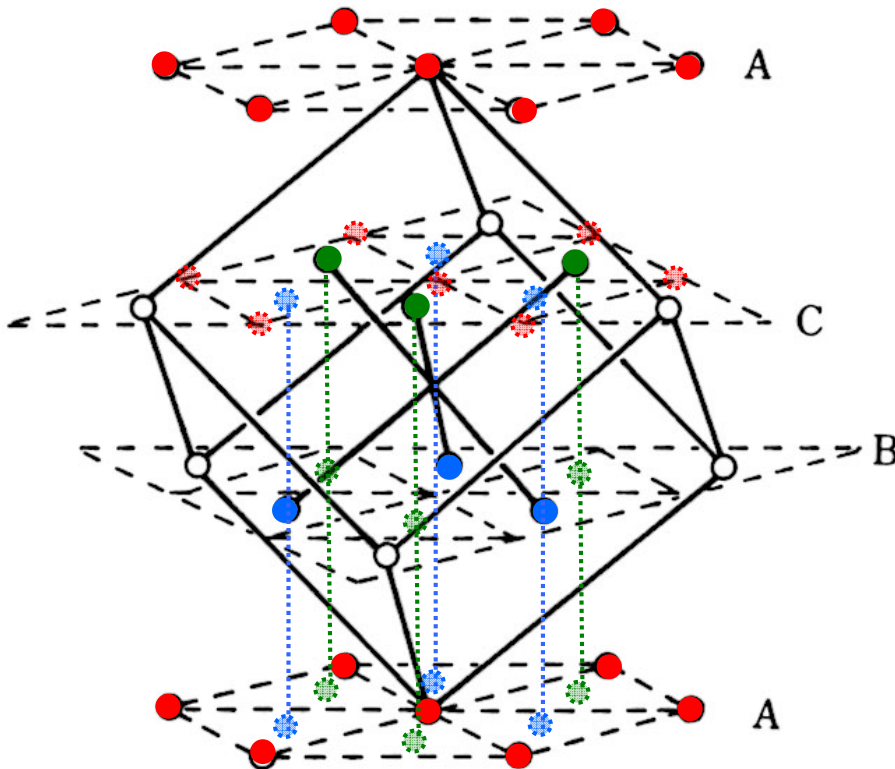


(c) 立方最密充填(3段目が○の上に来た場合)

六方最密充填(b)と立方最密充填(c)

(A,B,C,A,B,C,...)

(3段目の真下には原子がない)



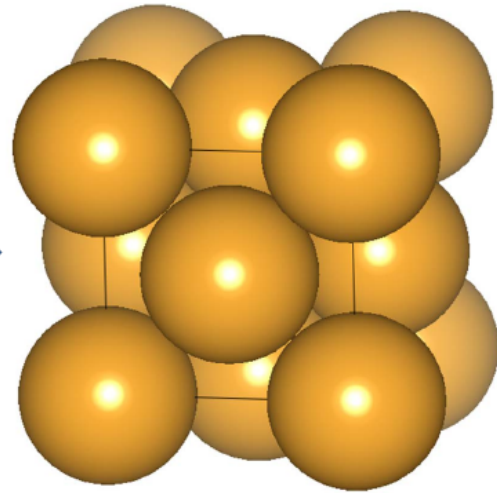
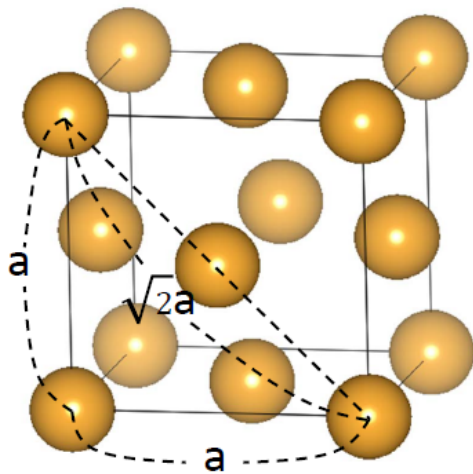
A層の●と●の位置に2段目と、3段目の原子を積むと、ABCABC...の繰り返しである立方最密充填となる。

六方最密充填では、3段目の原子をA層の●と同じ●の位置に置くのでABAB...の繰り返しとなる。

立方最密充填構造と面心立方格子

充填率

面心立方格子

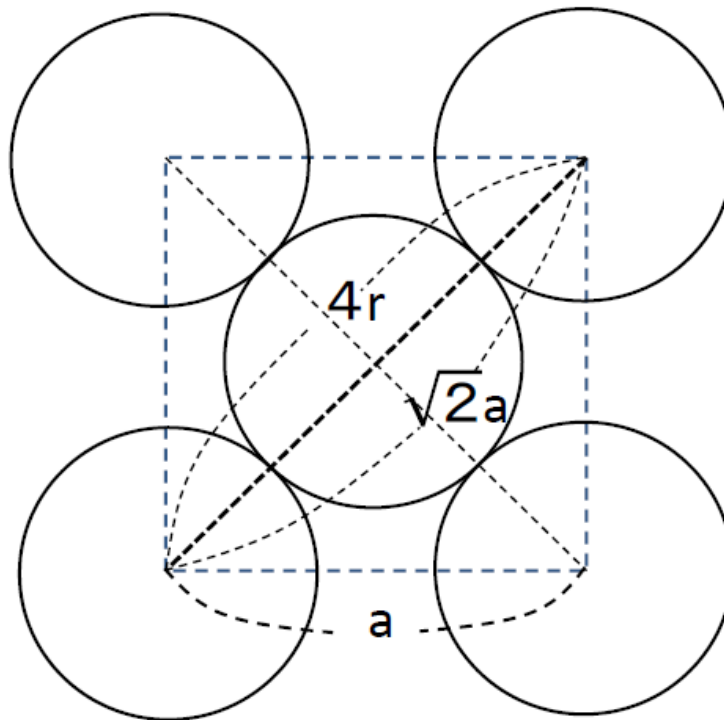


接するように描いた図
これが現実の構造

①配位数 12

②単位格子の中の原子数 $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$
(例) Al, Ag, Au, Cu, Ca など

768



③面心立方格子の a (格子定数) と r (原子半径) の関係

$$4r = \sqrt{2}a$$

充填率の計算に必要な情報は,

- (1) 格子定数 a
- (2) 単位格子中の原子の数
- (3) 原子の体積 ← 原子半径 r

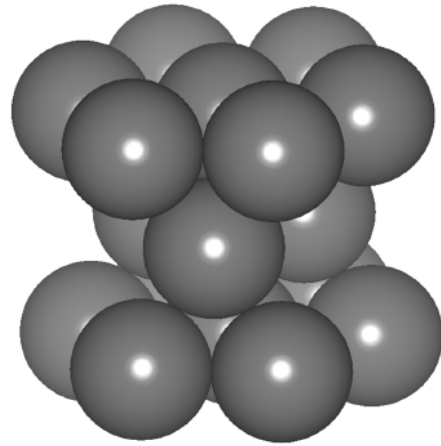
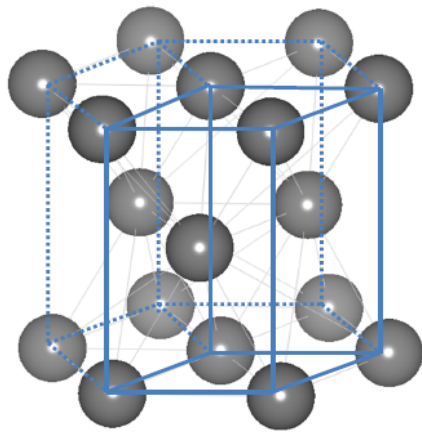
r と a の関係が分かれば良い

$$\text{充填率} = \frac{(\text{原子の体積}) \times (\text{単位格子中の原子の数})}{\text{単位格子の体積}}$$

④ 充填率の計算 (面心立方格子)

$$\begin{aligned} \frac{\text{球の体積} \times 4}{\text{単位格子の体積}} \times 100 &= \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \times 4}{a^3} \times 100 (\%) \\ &= \frac{\frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4} a\right)^3 \times 4}{a^3} \times 100 (\%) \\ &\doteq 74 \% \end{aligned}$$

六方最密構造



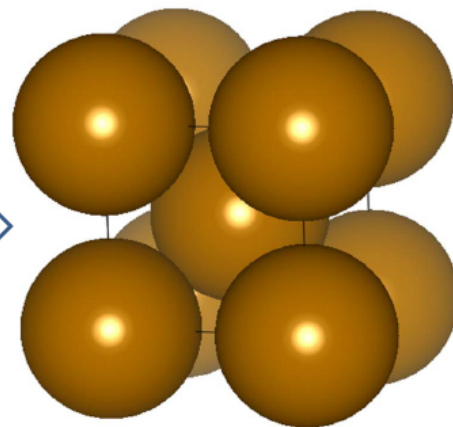
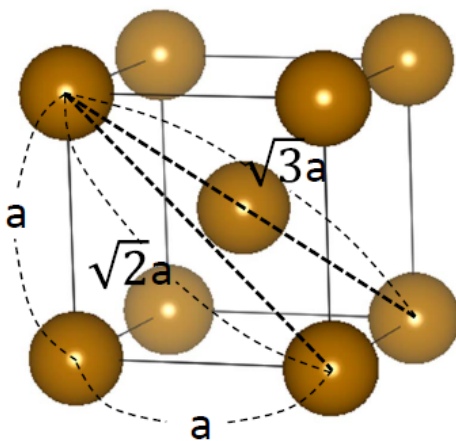
接するように描いた図
これが現実の構造

①配位数 12

②単位格子の中の原子数 $\left(\frac{1}{2} \times 2 + \frac{1}{6} \times 12 + 3\right) \div 3 = 2$
(例) Mg, Be, Zn, Cd など

球の詰まり方は面心立方構造と同じなので、充填率も同じ74%である。

体心立方格子



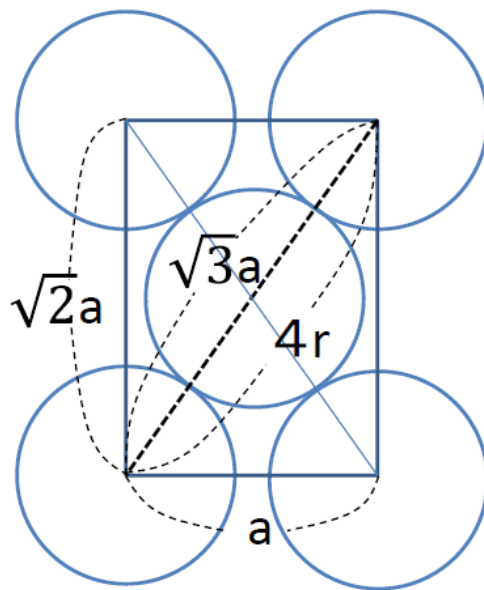
接するように描いた図
これが現実の構造

①配位数 8

②単位格子の中の原子数 $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$
(例) Na, Ba, Cr, Fe (911°C以下)

④ 充填率の計算

$$\begin{aligned}\frac{\text{球の体積} \times 2}{\text{単位格子の体積}} \times 100 &= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \times 2}{a^3} \times 100 (\%) \\ &= \frac{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^3 \times 2}{a^3} \times 100 (\%) \\ &\approx 68 \%\end{aligned}$$



体心立方格子の a (格子定数) と r (原子半径) の関係

$$4r = \sqrt{3}a$$

格子	配位数	球の数 (格子内)	rとaの関係	充填率	例
体心立方 格子	8	2個	$4r=\sqrt{3}a$	68%	アルカリ 金属
面心立方 格子	12	4個	$4r=\sqrt{2}a$	74%	遷移金属
六方最密 構造	12	2個	$4r=\sqrt{3}a$	74%	2族 12族金属

10月2日, 学生番号, 氏名

(1) 金属結晶の立方最密充填と六方最密充填の違いを説明せよ.

(3) 本日の授業についての質問, 意見, 感想, 苦情, 改善提案などを
書いてください.