

# 20面体対称をもつ Al-Mn 合金の構造と成長機構

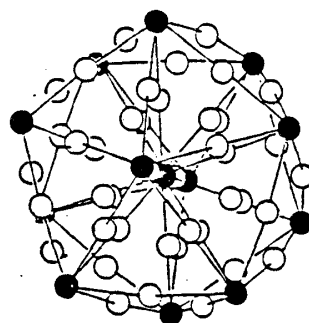
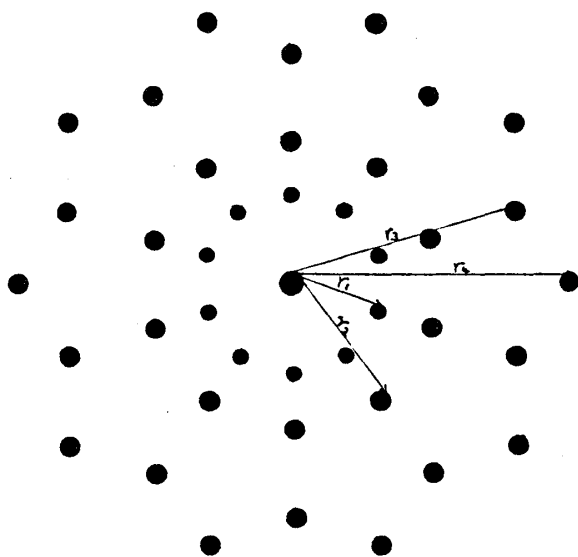
東北大学 鈴木秀次

## 1. まえがき

Shechtman<sup>1)</sup>によって急冷された Al-Mn 合金の 20 面体対称が発見されて以来、その構造については多くの模型が提議されている。しかし、平賀<sup>2)</sup>の電子顕微鏡写真は、これらの模型とは異なる構造をもつことを示しているように思われる。一般に電子顕微鏡像の解釈は複雑であり、非周期的な原子配列を正攻法で解析することはほとんど不可能なように思われる。しかし、平賀<sup>2)</sup>の分解能の低い方の写真は特別な事情から、準結晶の構造と説明可能な手掛りを与えている。以下平賀<sup>2)</sup>の写真を解析から 20 面体対称をもつ稠密な構造単位を見出したこと、それに基いて Al-Mn 合金準結晶の成長機構を考察した結果などを報告する。

## 2. 平賀<sup>2)</sup>の電子顕微鏡写真の解析

平賀<sup>2)</sup>が Al-Mn 準結晶の 5 回対称軸方向に電子線を入射して得た電子顕微鏡写真は極めて特徴的で、数種類の明暗の長が 5 回対称的な線上に非周期的に並んでいる。この明暗の長は原子集団に対応するが、その原子集団が 20 面体配列をもっていることとすると、この像を説明することができる。また明暗の長はオ/図の配列をもつものが一部重なり合った全視野を埋めていると解釈することができる。そこでオ/図の黒丸は 20 面体であると仮定すると、それはオ2図の構造をもつものであるとすると、 $r_1, r_2, r_3, r_4$



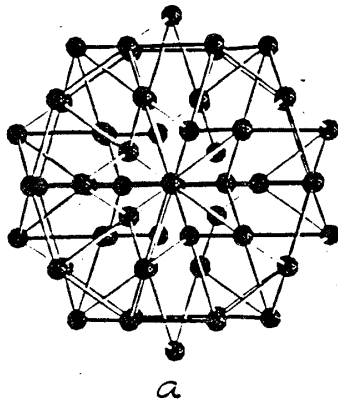
● Mn ○ Al

$$\begin{aligned} r_1 &= 2.362b = 6.77\text{\AA} & p &= 6.9\text{\AA}, 6.6\text{\AA} \\ r_2 &= 3.822b = 10.95\text{\AA} & q &= 1.13\text{\AA}, 11.0\text{\AA} \\ r_3 &= 6.185b = 17.71\text{\AA} & r &= 18.3\text{\AA} \\ r_4 &= 7.271b = 20.82\text{\AA} \end{aligned}$$

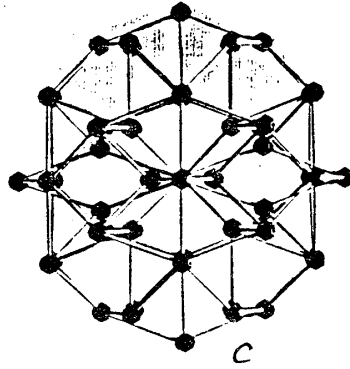
オ2図 1つの明暗の長を占める原子集団。

オ/図 平賀<sup>2)</sup>の写真の明暗の長の基本単位配列。 $r_1, r_2, r_3, r_4$ は計算値、 $p, q, r$ は平賀<sup>2)</sup>の測定値。

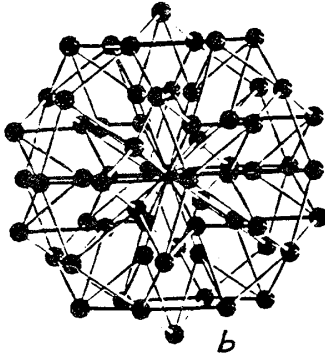
の計算値が得られ、平賀<sup>2)</sup>の測定とよく一致する。このとき、20 面体の中心はオ3図 a, b, c, d のように立



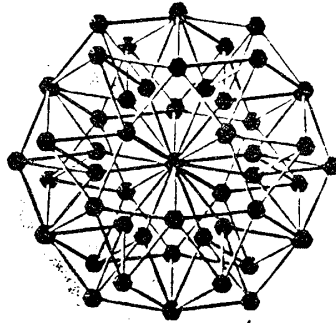
a



c



b



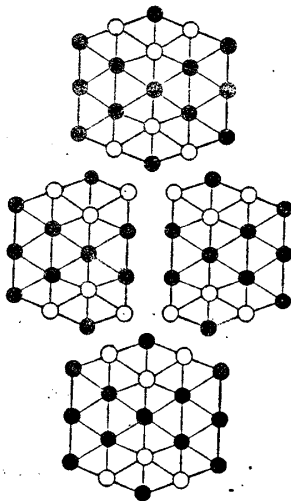
d

オ3図 20面体の積球, aは5回対称軸方向から, bは5回対称軸から $10^\circ$ ほどずれた方向から, cは2回対称軸方向から, dは3回対称軸方向から見た図形。玉は20面体の中心をあらわす。

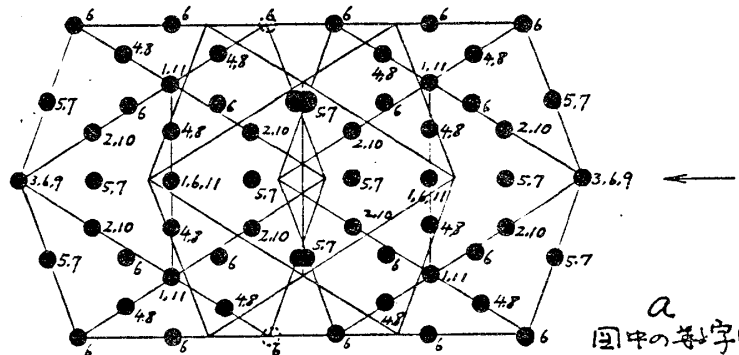
的に配置している。

この配置は、オ2図の20面体の各面上に同じ方位の20面体がのり、隣接する20面体が重なり合う部分を削って、21個の20面体のクラスターを作り、その外側に同じ大きさの同じ方位の20面体が42個並ぶことにより形成される。外形は殆ど球形になるので、これを20面体の積球と呼ぶことにする。

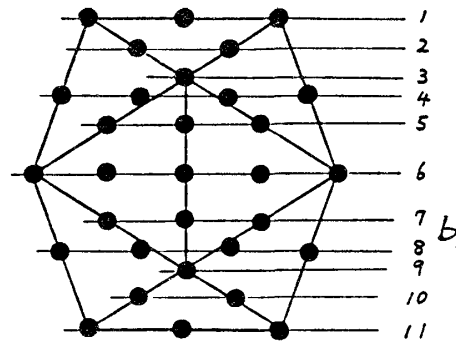
中心の20面体と2回軸方向の表面の20面体の接続方法をオ4図に示す。これは2回軸に垂直で20面体の



オ4図 中心の20面体と表面の2回軸方向の20面の結びつき。



a  
図中の数字はbの数字の層に対応

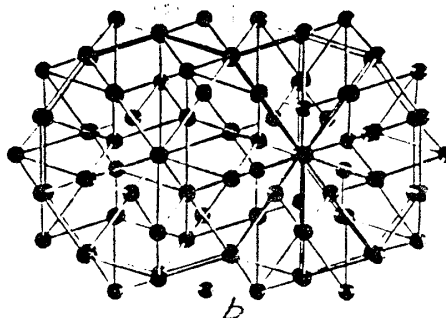
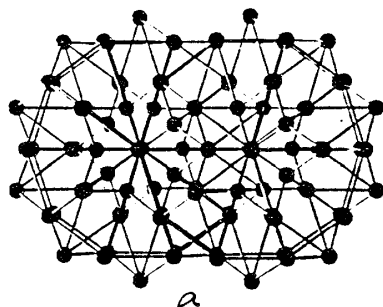


オ5図 オ2層の20面体の重なり部分の削り方。aは積球の半径方向にみた2個の20面体中の原子位置, bは切線方向にaの矢印の方向から見た図。

中心を通る断面上の原子位置を示す。黒丸は丁度その断面上にある原子、白丸は半層の距離上及び下にある原子位置を示す。オ2層の20面体は隣接するもの同士重なるので、削り取らなければならぬ。オ5図は削りとり原子列の向にみた原子配列である。黒丸の数は紙面に垂直な向の高さを示し、その数は矢印の向からみたbの各層に対応している。

### 3. 準結晶の成長

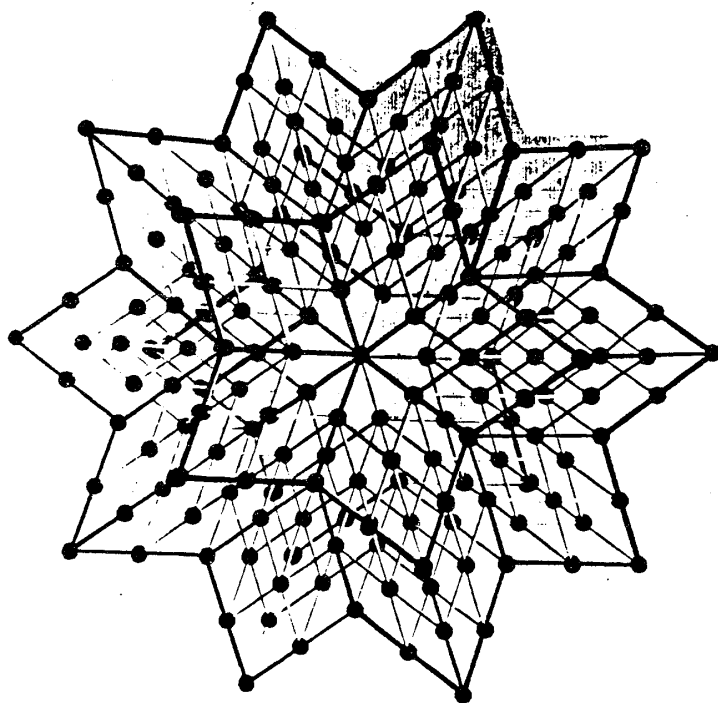
オ4図が判るように中心の20面体と表面の20面体は同形である。一つの相長群が完成すると、その表面の20面体が中心となってコブ状に成長する。オ6図は5回軸の向、



オ6図 20面体相長群の成長、(a)では5回軸の向の表面の20面体が新しい中心になり、(b)では2回軸の向に新しい中心ができていく。

2回軸の向にコブができた状態を示す。

5回軸の向のうが2回軸の向よりもコブの安定性がよいので、コブの成長は大体5回軸の向に起こると考



えうれる。オ7図は5回軸の向にだけコブができるとし、最も安定な位置だけが選ばれ、としたときのコブの成長を示す。これは西谷<sup>3)</sup>が過飽和固溶体から成長させた準結晶と同等の形状をもっている。

オ7図をみると部分的に20面体の相長群の中心は並進対称をもっているように見える。実際平面的な面から推定される環の中心は規則的に並ぶ傾向があるが、数値精度しか続かない。このため非率に大きな単位胞の結晶とはなり得ないようである。

オ7図準結晶をつくり成長させたときの外形。

- 1) D.S. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, and J.W. Cahn; *Phys. Rev. Lett.* **53**(1984) 1951.
- 2) K. Hiraga, M. Hirabayashi, A. Inoue and T. Masumoto; *Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ.* **A.32** (1985) 309; *J. Phys. Soc. Japan* **54** (1985) 4077.
- 3) 西谷清人, 川崎浩之, 小林孝二郎, 新宮秀夫: 日本合金学会誌, 1986年4月