

## 理学博士鈴木秀次君の「固体ヘリウムの塑性変形及び機械的性質の転位論的研究」に対する授賞審査要旨

転位論を中心とする結晶格子欠陥論は、今日材料工学の中心課題の一つであって、材料関係の産業界において、材料の改善または新材料の開発を行う場合、避けて通ることのできない重要な問題である。

鈴木秀次君は約四〇年間金属合金等に関連してこの問題に取り組み、また約一七年前から今日まで、固体ヘリウムの格子欠陥論を新しい立場から世界に先駆けて広範に研究し、誠に注目すべき成果を得ている。鈴木君の成果が挙がる前には、世界の多くの研究者は、固体ヘリウムの塑性変形や機械的強度は、転位以外の機構によって決定されるであろうと考えていた。それ故鈴木君の格子欠陥論の成果は固体ヘリウムのみならず、金属やセラミックスを含む総ての結晶性材料の塑性変形論および機械的強度論に大きなインパクトを与えたということが出来る。以下に鈴木君の業績の概要を述べるに当って、最も傑出している固体ヘリウムに関する研究を中心として述べることにする。

(1) 固体ヘリウムの格子欠陥の研究。約一七年前から鈴木君は量子力学的効果の大きい固体ヘリウムの塑性変形の実験を始めた。ヘリウムは単に温度を下げるだけではどんなに低い温度になっても固体にならず、固体にするためには少なくとも二五気圧以上に加圧しなければならない。このため通常の塑性変形の測定方法を適用できない。鈴木君は細い針金を付けた金属球を固体ヘリウム中に入れ、針金を一定速度で引き上げるときに必要な力と移動距離の関係を

測定するという独特な方法を用いて、いくつかのせん断歪速度に対する応力-歪曲線を測定した。それははじめに鋭い降伏点現象を示すが、これは、転位の運動によって起こる降伏点現象に関する Gilman-Johnston の理論によって説明できる。さらに種々の圧力、温度で金属球の移動速度を変えて応力-歪曲線の系統的な測定を続け、塑性変形は転位の運動によって起こることを決定的に示した。(図1参照、図2は参考)。

鈴木君はまた固体ヘリウム中の音速、超音波吸収、一定体積の容器中の固体ヘリウムの圧力の温度変化などの測定によって固体ヘリウム中の転位および原子空孔の性質を多面的に解明した。そのうち次の二つの結論は格子欠陥の量子効果に関するものである。

(a) hcp-He 結晶中の転位と  $^3\text{He}$  原子の相互作用エネルギーは  $^3\text{He}$  原子の零点振動の振幅が大きいために 0.3K 程度に大きくなっている。(b) bcc-He 結晶中からせん断転位はパイエルス力の約1/6の応力のもとでパイエルス・ポテンシャルを量子力学的なトンネリングによって透過できる。

金属などでも転位と同位元素原子の相互作用による硬化、転位のトンネリングの変形応力への影響などがあるはずである。しかし効果が小さいために実験的に確認することは困難である。ヘリウムについての明確な実験結果を用いれば、金属等の格子欠陥の挙動に及ぼす量子効果の大きさを推定することができる。

(2) その他金属・合金等の格子欠陥の研究。鈴木君は金属合金等でも多くの優れた研究を発表しているが、その中で同君が比較的近年行った bcc 金属及び合金の機械的強度の研究について述べる。鉄鋼その他構造用材料には bcc 構造をもつものが多いが、降伏強さの温度依存性、固溶硬化の溶質濃度及び温度依存性が fcc 合金と非常に異なる。

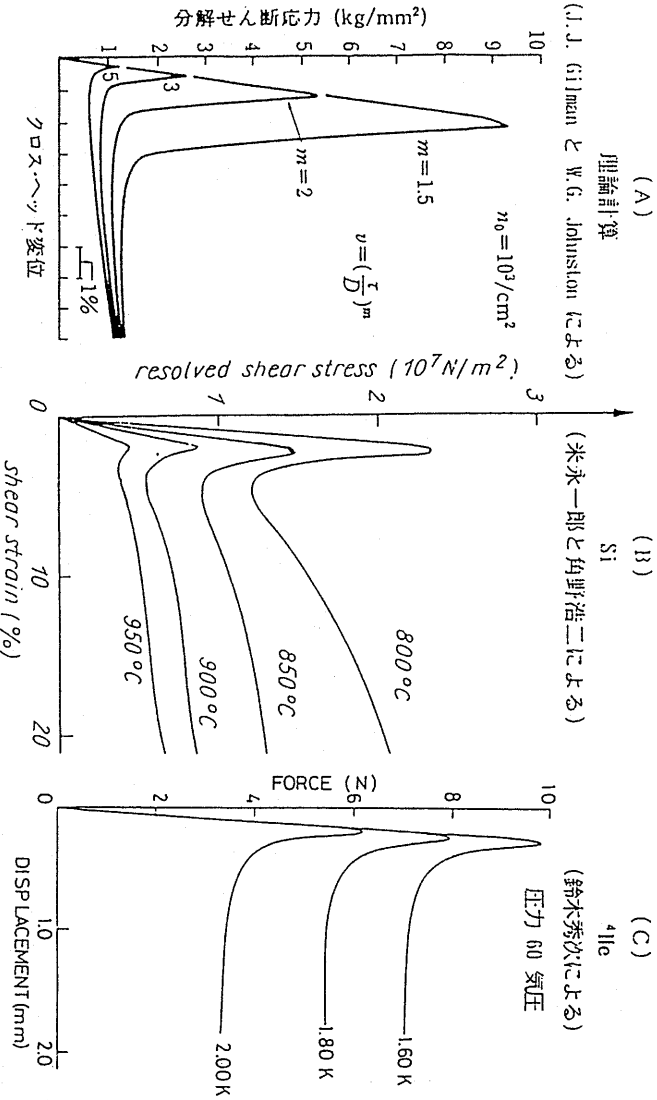


図1. 応力-歪曲線の鋭い降伏点現象。(A) Gilman-Johnston の理論計算 ( $n_0$  は初期転位密度,  $m$  は転位速度の応力依存性を表す指数)。(B) Si の実験例。(C) 固体ヘリウムに関する鈴木秀次の実験結果の若干の例。

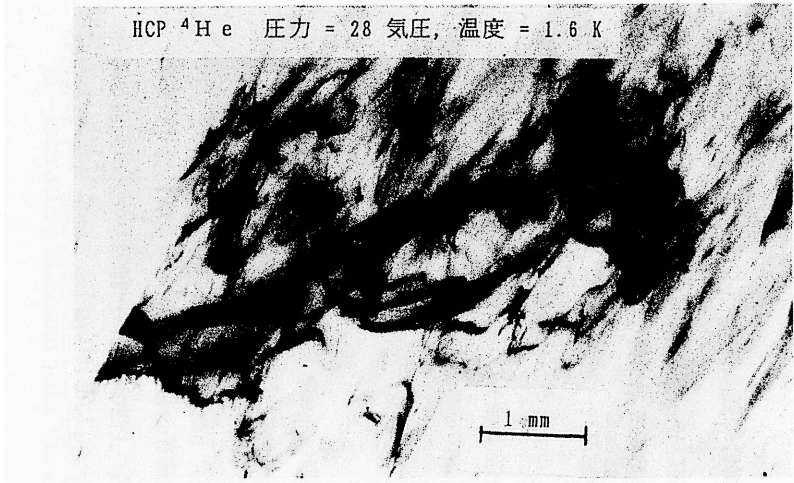


図2. 高エネルギー物理学研究所の放射光施設を利用して、鈴木君が初めて撮った固体ヘリウムのX線トポグラフ。転位の集団による内部歪の黒いコントラストがよく見えている。

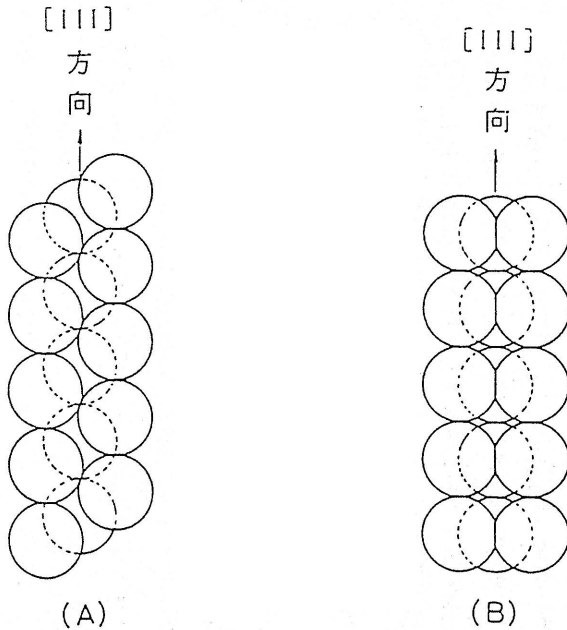


図3. bcc 金属のらせん転位の芯の原子配列に関する鈴木君のモデル。ポテンシャル・エネルギーの極小の配列 (A) と極大の配列 (B)。両者のエネルギー差が大きい。

鈴木君は  $bcc$  結晶の原子配列の対称性そのものが原因となつて、らせん転位のポテンシャル・エネルギーが一原子距離の周期で大きく変動し（図3参照）、バイエルス力が大きくなり転位の運動を妨げることを初めて明快に示した。この論文が発表されるまでは、らせん転位が三つのすべり面上に拡張しており、それが転位の運動を妨げるといふ考えが提案されていたが、それは透過電子顕微鏡による転位の芯構造の観察結果と一致しない。鈴木君の論文は転位の運動に対する抵抗力がすべり方向に平行な原子列間の相互作用エネルギーに依存することを主張するものでもあった。この論文を契機として、原子列間または原子間ポテンシャルを仮定して  $bcc$  結晶中のらせん転位の芯構造を計算したり、その運動のシミュレーションを行うことが世界的な流行となり、多くの後継者が出ることとなった。さらに鈴木君は置換型  $fcc$  合金の固溶硬化の理論を完成し、 $fcc$  合金の場合と異なつて降伏強度が合金濃度にほぼ比例して増大し、その温度変化は合金濃度が増すと減少する点などを定量的に説明することに成功した。

以上を要するに鈴木君の研究は工業材料の開発発展に欠くことのできない格子欠陥論を、金属および合金に関する長年の研究によって発展させたのみならず、特筆すべき研究成果として、量子効果が大きいために従来の研究者が予想もしなかつた固体ヘリウムの格子欠陥論を確立して、世界の材料研究者に大きなインパクトを与えたものであつて、今や結晶性材料の総てに共通する転位論の塑性変形論および機械的強度論の完成に対して極めて大きな貢献をしたものである。なお鈴木君はこれらの業績によってアレキサンダー・フォン・フンボルト賞（一九八六年）、本多（光太郎）記念賞（一九八七年）、日本金属学会賞（一九八八年）、その他の賞を相ついで受賞している。

I 固体ヘリウムの格子欠陥

1. Plastic Flow in Solid Helium. Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan **35** (1973) 1472 - 1479.
2. Plastic Flow in hcp  $^4\text{He}$ . II. Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan **42** (1977) 1865 - 1872.
3. Anomalous Temperature Dependence of the Ultrasonic Velocity in hcp  $^4\text{He}$  Crystals. I. Iwasa, K. Araki and H. Suzuki: in *Internal Friction and Ultrasonic Attenuation in Solids*, ed. R. R. Hasiguti and N. Mikoshiba (University of Tokyo Press, 1977) pp. 549 - 553.
4. Plastic Flow in bcc  $^3\text{He}$ . Akira Sakai, Yasusiro Nisioka and Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan **46** (1979) 881 - 888.
5. Temperature and Frequency Dependence of the Sound Velocity in hcp  $^4\text{He}$  Crystals. Izumi Iwasa, Keisuke Araki and Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan **46** (1979) 1119 - 1126.
6. Effects of  $^3\text{He}$  Impurities on the Acoustic Properties of hcp  $^4\text{He}$ . Izumi Iwasa and Hideji Suzuki: in *Phonon Scattering in Condensed Matter*, ed. H. J. Maris (Plenum, 1980) pp. 153 - 156.
7. Sound Velocity and Attenuation in hcp  $^4\text{He}$  Crystals Containing  $^3\text{He}$  Impurities. Izumi Iwasa and Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan **49** (1980) 1722 - 1730.
8. Amplitude-Dependent Sound Attenuation in bcc  $^3\text{He}$  Crystals due to Tunneling of Dislocations. Izumi Iwasa, Nobuo Saito and Hideji Suzuki: Physica **107 B** (1981) 203 - 204.
9. Amplitude-Dependent Sound Attenuation in bcc  $^3\text{He}$  Crystals with  $^4\text{He}$  Impurities. I. Iwasa, N. Saito and H. Suzuki: Journal de Physique, Suppl. **42** (1981) C 5, 37 - 41.
10. Interaction of Sound with Vacancies in bcc  $^3\text{He}$  Crystals. I. Iwasa and H. Suzuki: Journal de Physique

- sigue, Suppl. 42 (1981) C 6, 896 - 898.
11. Vacancies in the Core of a Dislocation in Solid Helium. Hideji Suzuki: in *Point Defect Interactions in Metals*, ed. J. Takamura, M. Doyama and M. Kiritani (University of Tokyo Press, 1982) pp. 766 - 769.
  12. Quantum Mechanical Effects on the Motion of Dislocations in bcc Crystals. Hideji Suzuki: in *Mechanical Properties of BCC Metals*, ed. M. Meshii (The Metallurgical Society of AIME, 1982) pp. 41 - 50.
  13. Temperature Dependence of the Sound Velocity in bcc  $^3\text{He}$  Crystals. Izumi Iwasa and Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 51 (1982) 2116 - 2122.
  14. Tunneling of the Dislocations in bcc  $^3\text{He}$  Crystals. Izumi Iwasa, Nobuo Saito and Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 52 (1983) 952 - 962.
  15. Tunneling of Dislocations in hcp  $^4\text{He}$ . Hideji Suzuki and Yasuhiro Nishioka: in *Dislocations in Crystals*, ed. H. Suzuki et al. (University of Tokyo Press, 1985) pp. 169 - 172.
  16. Motion of Dislocations in bcc  $^3\text{He}$ . Izumi Iwasa, Etsuro Morita and Hideji Suzuki: in *Dislocations in Crystals*, ed. H. Suzuki et al. (University of Tokyo Press, 1985) pp. 173 - 176.
  17. Vacancies in BCC He Studied by Pressure Measurements. Izumi Iwasa and Hideji Suzuki: J. Low Temp. Phys. 62 (1986) 1 - 13.
  18. Observation of Lattice Defects in Solid Helium by SR X-Ray Topography. Izumi Iwasa, Hideji Suzuki, Tetuo Nakajima, Shigeo Suzuki, Masami Ando, Itiro Yonenaga, Masahiro Takebe and Koji Sumino: J. Phys. Soc. Japan 56 (1987) 4225 - 4228.

19. Direct Observation of Dislocations in Solid Helium by SR X-Ray Topography. Hideji Suzuki, Izumi Iwasa and Tetuo Nakajima: Proc. 18th Int. Conf. on Low Temp. Phys. JJAP 26 (1987) Suppl. 26-3, FG, 405-406.
20. Vacancies at the Core of a Dislocation in Solid Helium. Hideji Suzuki: Izv. Akad. Nauk. SSSR, Fiz. 51 (1987) 1624-1628 [in Russian].

## II 面心立方金属および合金の塑性と転位

1. Chemical Interaction of Solute Atoms with Dislocations. Hideji Suzuki: Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ. A 4 (1952) 455-463.
2. The Yield Strength of Binary Alloys. Hideji Suzuki: in *Dislocations and Mechanical Properties of Crystals*, ed. J. C. Fisher et al. (John Wiley and Sons, New York, 1957) pp. 361-390.
3. Solid Solution Hardening. Hideji Suzuki: Proc. 5th Int. Conf. Strength of Metals and Alloys (Pergamon, Oxford, 1979) Vol. 3, pp. 1595-1614.
4. Solution Hardening in FCC Alloys. Hideji Suzuki: Proc. 7th Int. Conf. Strength of Metals and Alloys (Pergamon, Oxford, 1986) Vol. 3, pp. 1727-1744.
5. Deformation of Thin Copper Crystals. Hideji Suzuki, Susumu Ikeda and Sakae Takeuchi: J. Phys. Soc. Japan II (1956) 382-393.
6. Deformation Twinning in Silver-Gold Alloys. H. Suzuki and C. S. Barrett: Acta Met. 6 (1958) 156-165.
7. Thermally Activated Glide in Face-Centered Cubic Alloys. H. Suzuki and E. Kuramoto: Proc. Int.



- Conf. Strength of Metals and Alloys. Trans. Japan Inst. Metals 9 (1968) Suppl. 697 - 702.
8. Analysis of the Grain Size Dependence of the Yield Stress in Copper-Aluminum and Copper-Nickel Alloys. K. Nakanishi and H. Suzuki: Trans. Japan Inst. Metals 15 (1974) 435 - 440.
  9. A Theory of the Grain Size Dependence of the Yield Stress in Face-Centered Cubic Alloys. H. Suzuki and K. Nakanishi: Trans. Japan Inst. Metals 16 (1975) 17 - 27.
  10. Some Observations on Dislocations in Copper Crystals. Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 10 (1955) 981 - 995.
- 櫻 一 七 號

### III 体心立方金屬及合金の變形

1. Motion of Dislocations in a Body-Centered Cubic Crystal. Hideji Suzuki: in *Dislocation Dynamics*, ed. A. R. Rosenfield et al. (McGraw-Hill, New York, 1968) pp. 679 - 700.
2. A Theory of Solid Solution Hardening in Body-Centered Cubic Alloys. Hideji Suzuki: Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen II. Mathematisch-Physikalische Klasse (1971) Nr. 5, pp. 113 - 158
3. Solution Hardening and Softening in bcc Alloys. Hideji Suzuki: in *Rate Process in Materials*, ed. J. C. M. Li and A. K. Mukherjee (ASM, Cleaveland, 1975) pp. 47 - 69.
4. Solid Solution Hardening in Body-Centered Cubic Alloys. Hideji Suzuki: in *Dislocations in Solids*, Vol. 4 ed. F. R. N. Nabarro (North-Holland, Amsterdam, 1979) pp. 191 - 217.
5. Theory of Yield Stress of Dilute B. C. C. Alloys. Hideji Suzuki: in *The Structure and Properties of*

*Crystal Defects*, ed. V. Peider and L. Lejcek, (Elsevier, Amsterdam, 1984) pp. 205 - 214.

IV その他の(再結晶、マントンセンター変態、液体の転位模型)

1. On the Grain Boundary Migration Induced by Temperature Gradient. Hideji Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 6 (1951) 455 - 463.
2. Growth Rates of New Grains during the Primary Recrystallization of Aluminum Plates. Hideji Suzuki: Sc. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ. A 5 (1953) 413 - 432.
3. Mechanisms for the Development of Martensitic Transformation of a Face-Centered Cubic Structure into a Body-Centered Structure. Hideji Suzuki: Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ. A 6 (1954) 30 - 49.
4. Theory of Irreversible Dissipation of Free Energy during Martensitic Transformation. Hideji Suzuki: Proc. Int. Conf. Martensitic Transformation (Japan Inst. Metals, 1987) pp. 43 - 46.
5. Dislocation Model of Solidification and the Formation of Amorphous Solids. Hideji Suzuki: in *Dislocation Modelling of Physical Systems*, ed. M. F. Ashby et al. (Pergamon, Oxford, 1981) pp. 400 - 404.

他マルテンサイト変態二編、液体の転位模型四編、照射損傷七編、転位による熱抵抗五編、破壊三編、その他二編