

宇宙の中の鉄

談話室
~~~~~

島 正 子\*

私達の住んでいる地球も宇宙に浮かんでいる太陽の惑星の1つである。このような考え方をすれば、太陽系の中だけでもかなりの量の鉄があることになる。すなわち地球型惑星といわれる水星、金星、火星、そして地球の衛星の月をとつてみても、その比重から、地球程度には鉄を含有していることが想像される。また、中心にある太陽にももちろん鉄が存在することは、写真1に示す太陽スペクトルからもよく知られている。我々の身近にある太陽系ばかりでなく、宇宙には太陽系に類似のものが何万、何億とあるのだから、宇宙の中の鉄ということになれば、その規模は大変なものになる。宇宙空間には、太陽のような恒星、それをとりまく惑星およびまたその衛星の他に、彗星、いん石、宇宙塵、宇宙線がある。これらのものの大部分にも多かれ少なかれ鉄が含まれている。

一般に太陽系における各元素の存在量は珪素を  $10^6$  とし、これに対する各元素を原子比の形であらわしている(図1参照)。図1によれば、太陽系内には水素、ヘリウムが断然多いが、鉄もほとんど珪素と匹敵するくらい存在し、原子量の高い元素の中ではとびぬけて多いことがわかる。鉄より存在量の高いものは8元素にすぎない。これは、太陽系における元素存在度がとりも直さずそれぞれの元素を構成している原子の原子核の安定度をあらわしていることを示す。星の中で水素の原子核からそれ

ぞれの元素の原子核が生成されて今日我々がみる元素組成比ができ上がったということを考えあわせると、このことは容易に理解することができよう。したがって、太陽系内における元素の存在割合は、これを宇宙全体におしひろげて考えても大きな間違いはなさそうである。

さてこんなにたくさん宇宙にある鉄は一体どのような形で存在しているのだろうか。宇宙線は高エネルギーをもつ粒子なので宇宙線中ではおそらく外殻電子を失つたプラズマの形で存在しているだろう。しかしそれより大きい宇宙塵以上のものの中の鉄の形を知ることは興味深い。宇宙物質のうち、これまで我々が実際に手にとつてしらべることができたものは、月および地球の表面物質といん石にすぎない。月にしても地球にしても、我々がみているものは果実にたとえればほんの皮の部分だけであり、これで全体を議論することは不可能である。それに較べていん石には図2に示すようにいろいろな種類があり、地球をはじめ宇宙空間にある物質に対する我々の

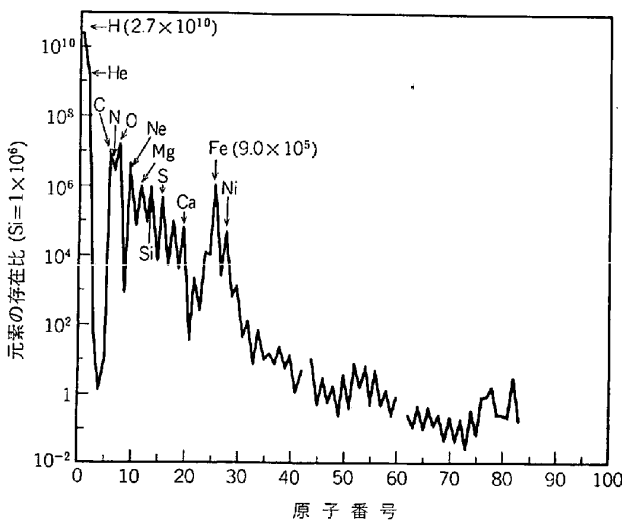


図1. 太陽系における元素存在度。水素および鉄の横の数字は  $Si=10^6$  とした時のそれぞれの元素の値。(A. G. W. CAMERON 1980年の値より)

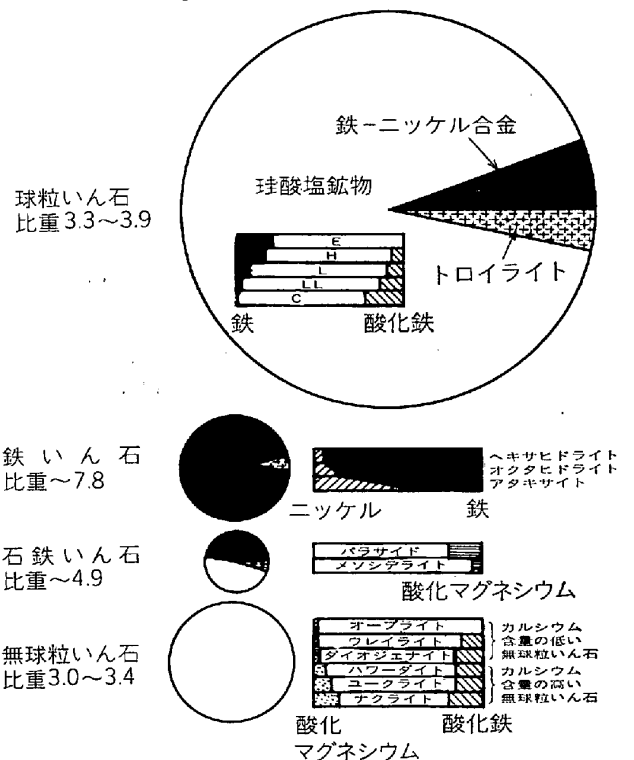


図2. いん石の分類。円の大きさは落下頻度(宇宙空間でこのような割合で存在しているであろうと考えられている比率)をあらわす。黒い部分: 鉄・ニッケル合金, ††の部分: トロイライト(硫化鉄)をあらわす。

\* 国立科学博物館主任研究官 理博

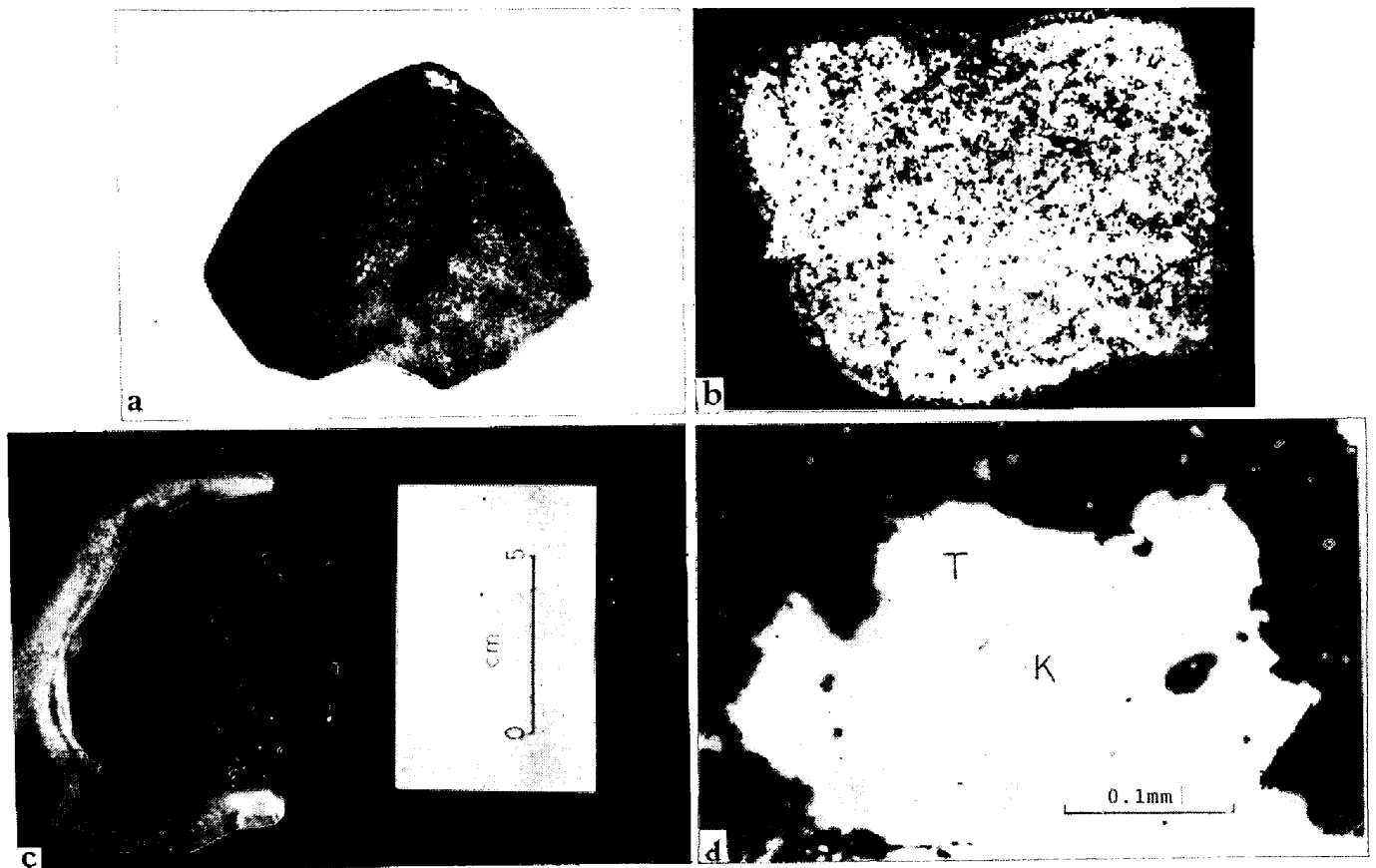


写真 2. 球粒いん石の例 長井球粒いん石の外観(a)とその断面(b) 断面で白くぬけているようにうつついているところが金属鉄. 沼貝球粒いん石の外観(c)と反射光で撮影した鉄相の顕微鏡写真. T:テナイト ( $\gamma$ 鉄) K:カマサイト ( $\alpha$ 鉄). スケールバー 0.1mm.

理解はいん石研究の成果から導きだされたものが大部分であるといても過言ではない。

図2にはいん石の種類だけでなく、宇宙空間における各種類の存在割合およびそれぞれの種類はいん石のさらに細かい分類や主成分の割合がわかるようにかいてある。図2から、いん石の中には無球粒いん石以外はほとんど全部に金属鉄が、正確には鉄とニッケルの合金が含まれていることがわかる。金属鉄が含まれていないいん石でも鉄が含まれていないというものは皆無である。酸化鉄、珪酸塩、硫化鉄などの形で含まれている。

いん石の中で最も普遍的である球粒いん石中には金属鉄の粒が散在している。(写真2参照)。宇宙では最初にこのようなものができ、これが分化してその他の種類はいん石ができたと考えられている。

石鉄いん石は鉄の大きな塊の中に石の塊がはまりこんでいるようなもので、その断面は写真3に示すように非常に美しい。

金属鉄は石とくらべると固いので鉄いん石は宇宙空間におけるいん石同志、いん石と宇宙線や宇宙塵との衝突でこわされたり、けずられたりする確率が少ない、また地球に突入する時も地球大気との衝突や摩擦でこわされることが少ないと考えられている。おそらくそのためで

あろう、地球上に落下してくる鉄いん石は一般に石質いん石にくらべ大きいものが多い。また落下してからも地球上の石とは全く趣を異にしており、風化されにくいので、これまでに採集されたいん石の総重量の約90%は鉄いん石がしめる。しかし宇宙空間に存在している鉄いん石の割合は図2に示す程度、いん石全体の約5%である。

では鉄いん石はどのような成分からできているのであろうか。大部分は金属相であるが、不均一に硫化鉄、燐化鉄の大きさも不統一な塊がはまりこんでいる。まれに石質相がとりこまれているものもある。これら包含物の総量は10%をこえることはない。したがって従来鉄いん石の研究は主要相である金属相について主として行われてきた。

鉄いん石は金属相の鉄とニッケルの割合からくる構造の差によりさらに細かく分けられている。図2の鉄いん石の円の右の図がそれを示しているが、3種の構造のうちオクタヒドライトとよばれるものが最も多く、八面体の美しい構造をもち、その構造の粗密度により、写真4に示すようにさらに細かく分けられている。

このような構造は大部分の鉄いん石が半径150~200kmの母体の中心部で100万年に1~10°Cの割合で徐



Ca 3934    Ca 3968    Fe 4046    H $\delta$  4102    Fe 4144    Ca 4227    Fe 4271    Fe 4326    H $\gamma$  4340



Fe 4384    Fe 4405



H $\beta$  4861    5167    5173    Mg 5183    Fe 5270

写真1. 太陽スペクトル（東京天文台塔望遠鏡で撮影，秦茂氏提供）カルシウム，マグネシウム，水素の吸収線と共に鉄の吸収線がはっきりみえる。元素記号の下の数字は波長(単位 Å)

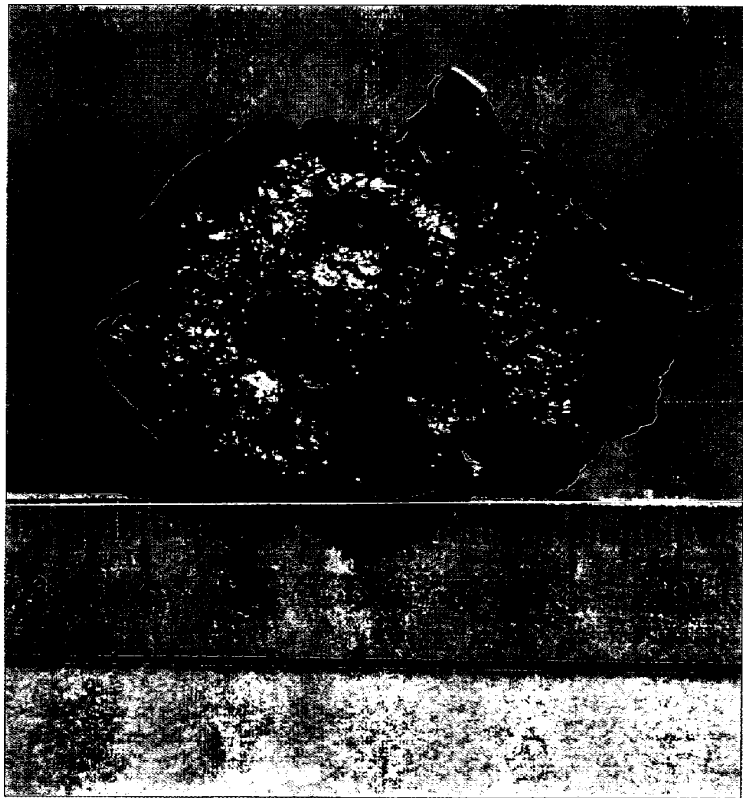


写真3. 石鉄いん石の一例。在所石鉄いん石。石鉄いん石は日本には一個しか落下していない。鉄の切口が見える。ごつごつした感じの部分は橄欖石である。

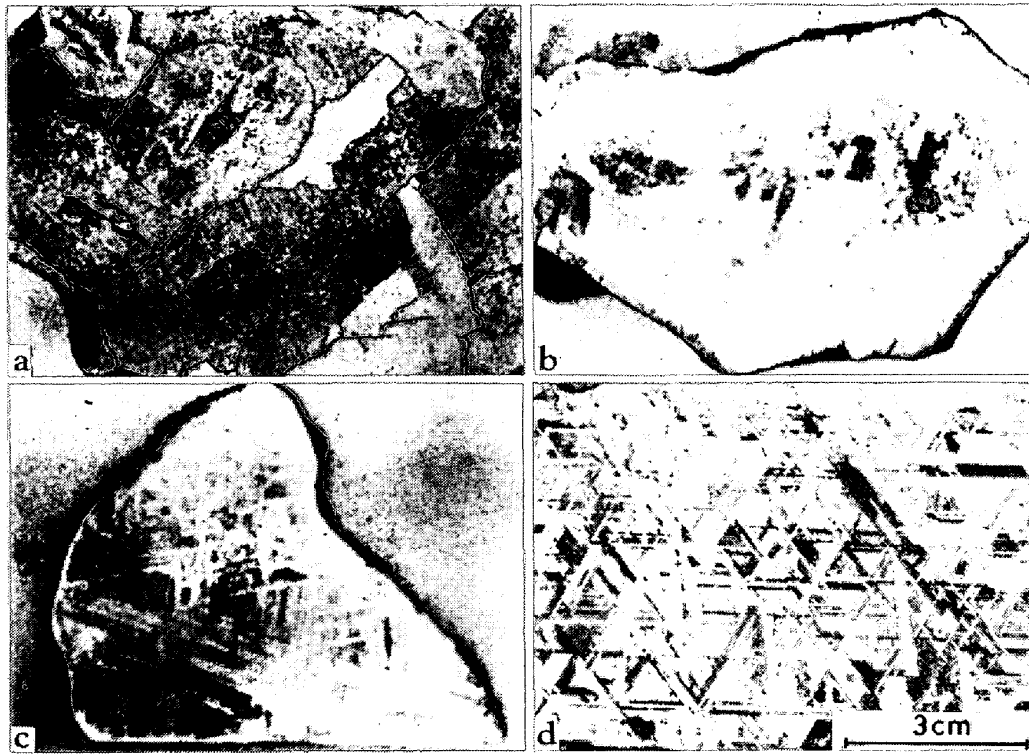


写真 4. 鉄いん石の中のオクタヒドライト (octahedrite) の構造 (a) ショタリン鉄いん石, Coarsest octahedrite, (b) オデッサ鉄いん石, Coarse octahedrite, (c) ヘンブリー鉄いん石, Medium octahedrite, (d) アルトナー鉄いん石, Fine octahedrite. この外にさらに細かい Finest octahedrite とよばれる種類もある. (スケールは 4 図共通)

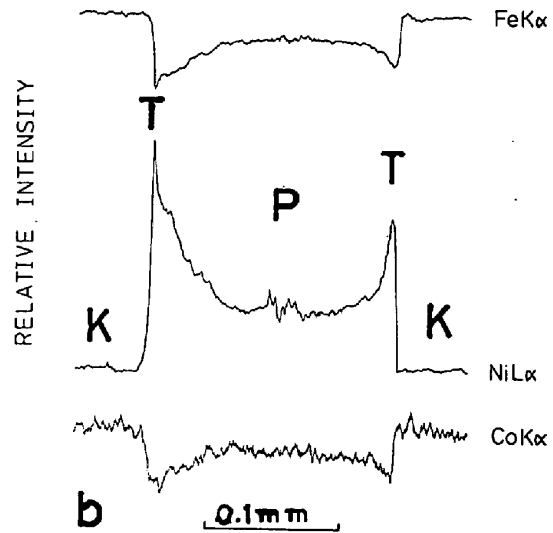
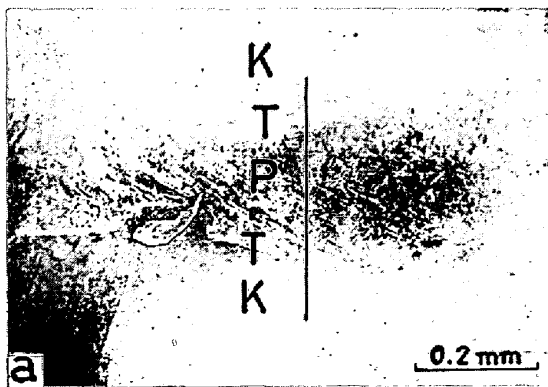


図 3. 玟珂鉄いん石のテナイトバンド. (a) エレクトロンプローベマイクロアナライザーで走査した場所 (縦線) を示す. (b)  $FeK\alpha$ ,  $NiL\alpha$ ,  $CoK\alpha$  による走査図. K: カマサイト ( $\alpha$ 鉄) T: テナイト ( $\gamma$ 鉄) P: プレッサイト ( $\alpha$ 鉄と  $\gamma$ 鉄の粒子が混合している). カマサイト相では鉄とコバルトが濃縮しており, テナイト相ではニッケルが非常に濃縮している (一般には約 30%, 非常に高いものでは 50% に達するものもある) ことがわかる.

々に冷えたためにできたと考えられている. もちろん鉄いん石によつてはこの冷却速度がもつとおそいもの  $0.4^\circ C/100$  万年, ずつと速いもの  $500^\circ C/100$  万年と計算されているものもある. 構造間を EPMA で走査してみる

と図 3 に示すように鉄とコバルトは相関関係にあり, ニッケルとは逆相関していることがわかる. テナイトとよばれている  $\gamma$  相ではニッケル含量が一般に約 30% に達し, 最も低いカマサイトとよばれる  $\alpha$  相では数%

表 鉄いん石鉄相中の各元素存在量の一例

| 元素         | 天童*  | 白萩**  | 元素 | 天童*   | 白萩**  |
|------------|------|-------|----|-------|-------|
| Fe(%)      | 87.2 | 90.34 | Mo | 8.9   | 6.3   |
| Ni %       | 8.48 | 7.63  | Ru | 3.4   | 2.0   |
| Co %       | 0.45 | 0.40  | Pd | 3.3   | 2.6   |
| P %        | 0.28 | 0.029 | Ag | 0.012 | 0.011 |
| —以下 (ppm)— |      |       | Cd | 0.009 | ...   |
| Cr         | 29.4 | 82    | In | 0.019 | 0.022 |
| Cu         | 145  | 153   | Sb | 0.23  | 0.020 |
| Zn         | 0.38 | ...   | W  | 0.51  | 4.9   |
| Ga         | 24.8 | 2.03  | Re | 0.12  | 0.37  |
| Ge         | 28.9 | 0.12  | Os | 0.23  | 6     |
| AS         | 9.0  | 3.8   | Ir | 0.23  | 2.3   |
|            |      |       | Pt | 8.6   | 8.5   |
|            |      |       | Au | 1.36  | 0.97  |

\* 天童：天童鉄いん石。Modium Octahedrite と分類されている。山形県天童市貫津の山中で約 70 年前に土中から発掘されたもの。1977 年鉄いん石であることを確認。

\*\* 白萩：白萩鉄いん石。Fine Octahedrite と分類されている。富山県中新川郡上市町の川原で 1890 年に発見された。この鉄いん石を用いて榎本武陽が刀をうたせ大正天皇に献上したというので有名である。

ある。

図 2 に示されている他の 2 つの種類、ニッケル含量が 3~6% のヘキサヒドライトと 10~30% に達するアタキサイト (Ni-リッチ) とよばれるものにはヘキサヒドライトにみられるような構造はみられない。

金属相中におけるニッケル、コバルト以外の含量は一般に非常に低い。元素によつてはいん石の種類により、

たとえばゲルマニウムのように 0.1 ppm から 500 ppm まで 3 桁以上にも達する差のあるものもあるかと思えばモリブデン、白金、金などのように均一に存在している元素もある。鉄いん石鉄相の分析結果の一例を表に示す。この表に掲げた以外の元素の含有量は ppb (10<sup>-9</sup>g/g) 以下と考えてもあまり間違いはなさそうである。

球粒いん石や石鉄いん石中の金属相も鉄いん石の場合と同じような構造や、(写真 2 参照) 微量元素存在量をもっていることが知られている。

鉄いん石と地球上の原料で製錬された鉄とのちがいは構造以外にニッケル、コバルト、マンガンなど微量元素の存在量にあるといえそうである。これは地球上の鉄の原料がいん石でいえば、金属相の鉄ではなく、珪酸塩や酸化物あるいは硫化物の鉄であるということを物語っている。

鉄いん石でみられる構造はいまだに地球上で人工的にも作ることができない。これは天地悠久の時間の因子が我々の可能の範囲をはるかに超えていることによつてよからう。

宇宙の中の鉄の物語はまだまだつきない。宇宙の鉄がどうして現在みられるような化学形や分布になつたのかとか、宇宙の中の鉄には億年の単位の宇宙線の軌跡などというものも残されている。それらの話はまた次の機会にゆずることにしたい。

統 計

主要需要産業の生産動向

|       |                 | 単 位              | 53年             | 54年             | 55年             | 54/53(%)       | 55/54(%)     |
|-------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| 建 設   | 建設工事受注 (43社)    | 億 円              | 76 938          | 83 619          | 90 174          | 108.7          | 107.8        |
|       | うち 土木           | %                | 36 753          | 38 418          | 38 620          | 104.5          | 100.5        |
|       | 建築              | %                | 40 185          | 45 201          | 51 556          | 112.5          | 114.1        |
|       | 建築着工面積          | 万 m <sup>3</sup> | 23 200          | 24 530          | 22 172          | 105.7          | 90.4         |
|       | うち 全居住用<br>非住宅用 | %                | 14 975<br>8 225 | 15 062<br>9 468 | 13 227<br>8 945 | 100.6<br>115.1 | 87.8<br>94.5 |
| 造 船   | 新造船受注量          | 千総 t             | 3 145           | 6 551           | 9 806           | 205.1          | 149.7        |
|       | 鋼船起工量 (44工場)    | %                | 3 711           | 4 297           | 6 177           | 115.8          | 143.8        |
| 自 動 車 | 四輪車生産台数         | 千 台              | 9 269           | 10 038          | 11 482          | 108.3          | 114.4        |
|       | (含むKDセット)       | %                | 5 976           | 6 476           | 7 350           | 110.0          | 113.5        |
|       | うち 乗用車<br>トラック  | %                | 3 237           | 3 499           | 4 040           | 106.7          | 115.5        |
| 一般機械  | 一般機械生産指数        | 50年平均=100        | 126.0           | 143.7           | 159.7           | 114.0          | 111.1        |
| 電気機械  | 電気機械生産指数        | %                | 155.2           | 177.2           | 213.0           | 114.2          | 120.2        |

(鉄鋼界, 31 (1981) No. 5, p. 22)