

氷の3次元粒度解析

○西田 顕郎、 秋田谷 英次 (北大低温研)

1. はじめに

通常、多結晶氷の粒度解析は薄片や断面による2次元的な観察によってなされる。平均粒径などはそれで事足りるが、粒径の分布や配位数など、すこし構造に立ち入ったデータが欲しくなると、3次元的な観察が必要になる。また、2次元的な観察による粒度解析はステレオロジーという数学的理論に基づくが、それには構造に関する大胆な仮定、例えば、等方性、形状の一樣性などが必要である。いつも薄片で見ているコアの氷結晶粒子が立体的にどういう形をしているのか見てみたいという素朴な興味もあって、多結晶氷の3次元的な観察のための実験系を作ってみたので、その紹介をする。ここでは主に方法に関して発表する。具体例として南極みずほコアについて解析した結果も述べるが、得られた統計データについてはまだ検討を要することが多い。

原理的には断面を狭い間隔で積み重ねれば3次元的な粒子像を描くことができる。実際、そうやって結晶粒子の3次元的な形状を調べた例は既にある。その中で、この方法の特徴は、多数の粒子を同時に処理するため、統計的な解析が可能であること、断面間隔が0.1mmなのでサブミリメートル程度の細かい観察ができること、体積や重心位置などの定量的な議論が容易であることなどである。今までは、断面間隔がせいぜい5mm程度で、少数の特定粒子に着目し、その形状に関する議論が主であった。

2. 観察方法 (図1)

ミクロトーム台にカメラと照明系を固定し、視野を変えずに氷を0.1mm間隔で削り、写真を撮っていく。照明はハーフミラーによる垂直落射照明で、ハーフミラーは通常の板ガラスで代用している。

氷をミクロトームで削った直後は荒れた像しか得られず、表面を処理して結晶粒界を可視化する必要がある。ここではごくわずかにエタノールでしめったティッシュペーパーで表面を拭いた。するとすぐに結晶粒界が見える。この処理方法には、気泡の部分を腐食しすぎてしまうという難点があり、それを補正するために、処理前の写真も撮っておく。この方法で得られた結晶粒界像と、同じ部分の薄片偏光像を比較したところ、不一致は認められなかったが、このことはもう少し入念な検討が必要である。

写真からOHPシートに粒界をトレースし直し、同時に気泡部分を補正する。このトレース作業に最も手間がかかる。これをイメージスキャナによってパソコンに取り込む(図2)。取り込んだ画像を処理し、それぞれの粒子を認識し、重ね合わせる。こうして結晶粒子が計算機上で3次元的に再構成される。

3. 結果

結晶粒子の立体像の1例を掲げる(図3; 1つの粒子を4方向から見たもの)。

試料はみずほコア90m、視野は15mm×15mm×8.5mm、粒子数254、うち視野の中に完全に入っている85粒子に関して解析した。この85粒子は視野の体積のうち16%しか占めておらず、大きい粒子に対してこの視野が十分でないことは明かである。その意味で、

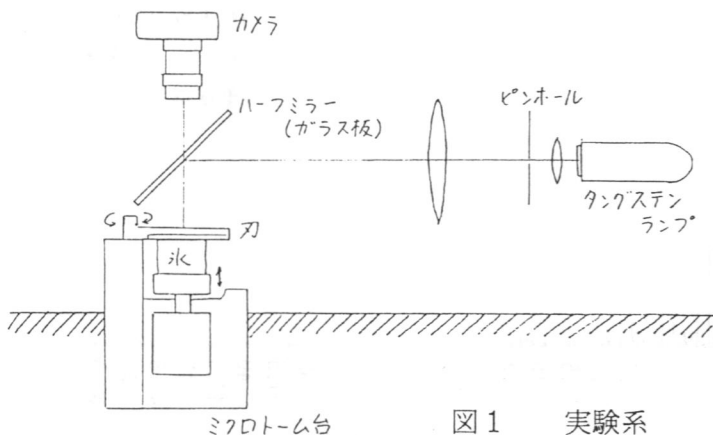


図1 実験系

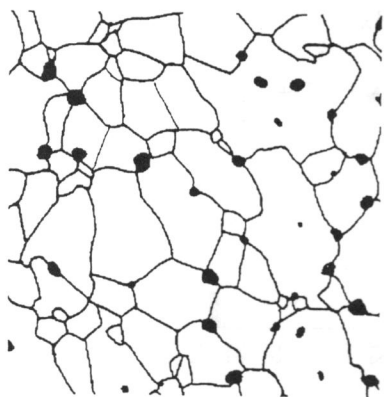


図2 断面像をパソコンに取り込んだところ

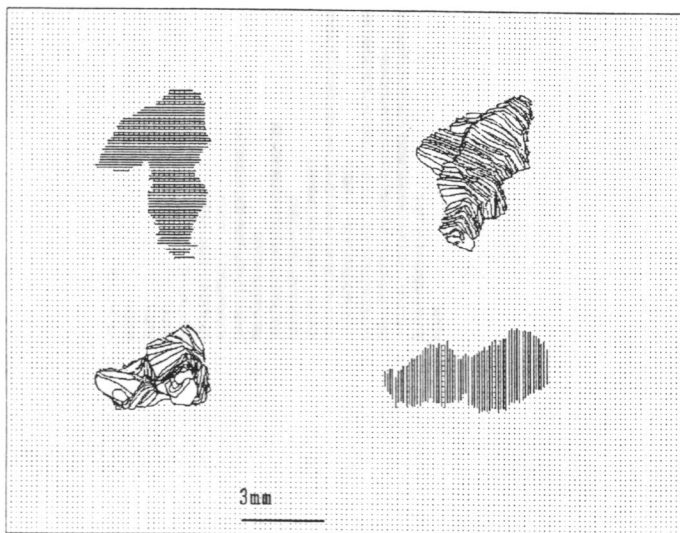


図3 みずほコア90m深の結晶粒の例
(1つの粒子を4方向から見たもの
体積 16mm^3 、配位数20)

このデータはサンプリングの一様性が崩れており、体積の小さい粒子についてのみ参考にして頂きたい。

体積分布は、小さい粒子ほど多く大きい粒子も無視できないという非常にブロードな構造であることがわかる(図4)。粒子の配位数は平均8.3だが、これは大きい粒子のサンプリングが少ない結果であり、実際はもっと多いと思われる(図5)。大きい粒子ほど配位数が多いことがわかる(図6)。このグラフ(図6)はサンプリングの一様性には無関係なので、標本数は小さいけれど、信頼できると考えている。

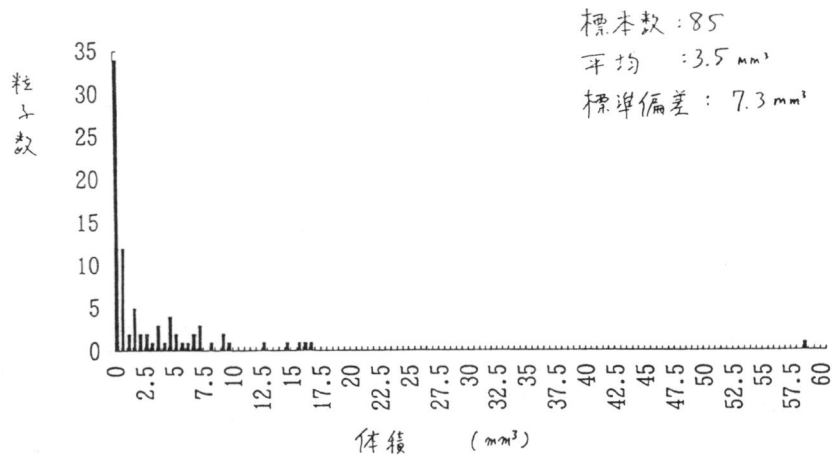


図4 結晶粒の体積分布

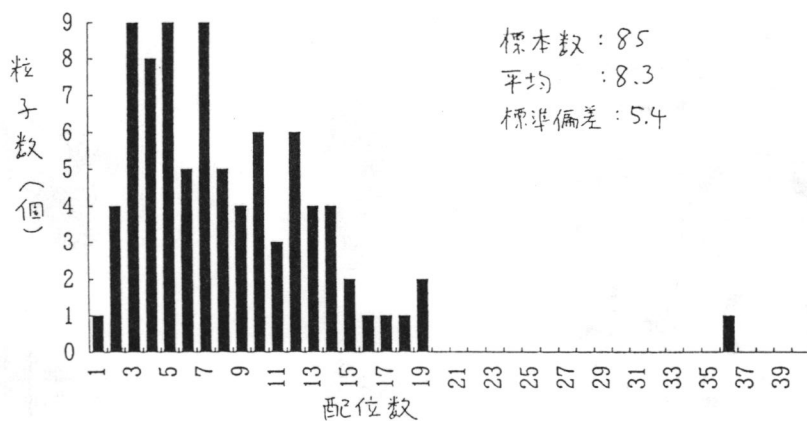


図5 粒子の配位数の分布

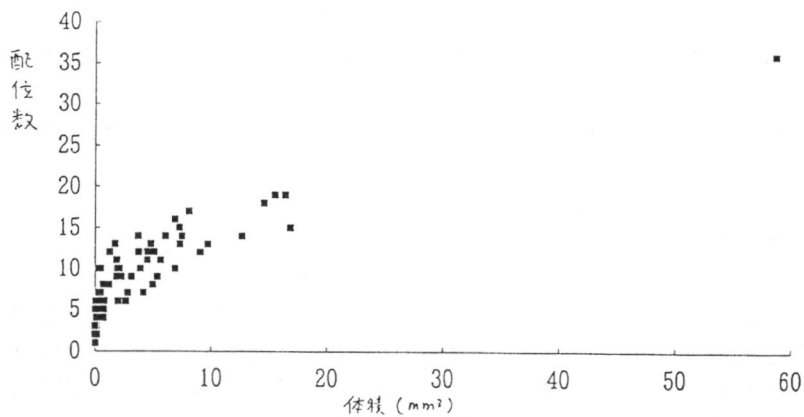


図6 体積-配位数