

低温室用小型 MRI 装置による三次元画像の取得 -その 1-

安達聖 (北海道教育大学大学院札幌・岩見沢校)

尾関俊浩 (北海道教育大学岩見沢校)

拝師智之 (株エム・アール・テクノロジー)

1. 目的

積雪の構造は熱・水蒸気の輸送機構やせん断強度などの力学的特性に大きく影響することが知られている。これまで積雪の構造観察は、1950 年代に開発された空隙をアニリンで固定し厚さ 200~300 μm の薄片を製作していた。この方法で得られるのは二次的な情報である。したがって、三次元構造を再構成するには片薄片を作成するため、技術の熟練と膨大な作業量をこなす必要がある。そこで本研究では低温室用小型 MRI 装置を用い、作成した試料の温度を変えず安定した低温(氷点下)での迅速な三次元データの取得を行うことを目的とする。

2. 積雪の可視化の方法

NMR (Nuclear Magnetic Resonance) は「原子核は静磁場の中で磁場の強さに比例した周波数で歳差運動を行う」という性質を利用し、原子核の位置における磁場の強さを計測する手法で、これに一定の磁場をかけることで位置情報を求めるイメージング法が MRI (Magnetic Resonance Imaging) である。一般に MRI の対象となるのはプロトンからの NMR 信号である。

積雪の可視化の場合、氷からの NMR 信号が微小であるため本実験での MRI 装置ではノイズレベル以下であり撮像することはできない。そこで浸透性がよく、融点が -12°C 程の有機化合物であるドデカン $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ に核磁化の縦緩和時間 T_1 を短縮するために常磁性緩和試薬 ($\text{C}_{15}\text{H}_{21}\text{O}_6\text{Fe}$) を加えた溶液で積雪の空隙をみたすこととした。したがって、NMR は氷粒子の代わりに、ドデカンがみたしている空間をイメージングすることとなる。撮像される画像では、NMR 信号はドデカンから得ているので積雪は暗い影として可視化されるため、取得された画像の明暗を反転処理することが必要となる。(図 1)

従来 MRI 装置に使用されてきた超電導磁石は、高額、大重量、大きな設置空間などの制約から一般の低温室で使用することは難しかった。そこで本研究では静磁場 1.0T、重量約 350kg、エアギャップ 50mm、磁場均一空間 $\phi 30\text{mm}$ の永久磁石磁気回路を用いることとした(図 2)。この磁気回路は

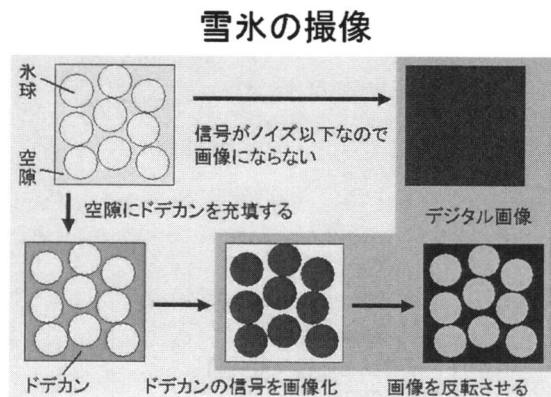


図 1 雪氷の撮像方法

漏洩磁場が少ないため、磁気シールドの必要がなく 1 m 以下のスペースで設置可能である。また、永久磁石であるため、低温寒剤の補充が不要でランニングコストがかからないというメリットがある。しかし、磁気回路の磁場の均一性は磁石の温度に依存するので、低温室で使用する場合には SHIM コイルを使用し磁場の均一性を確保することが必要になる(図 3)。撮像時間は、ボクセルサイズ $200 \mu\text{m}^3$ 、イメージマトリクス 128^3 、積算を 4 回行って約 2 時間ほどとなる。

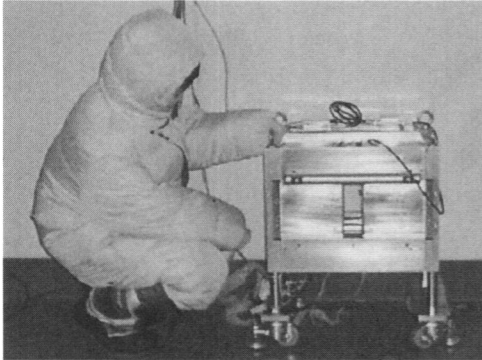


図 2 低温室用小型 MRI 装置

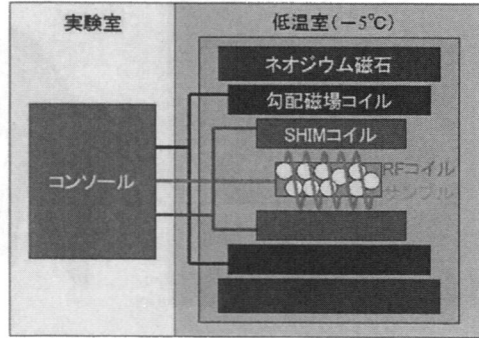


図 3 低温室用小型 MRI 装置の概要

3. 撮像結果

医療用 MRI 装置では被験者の体温がわずかに上昇するという報告がある。本装置の撮像による温度上昇の影響を確かめるため、サンプルの温度変化を測定した。本実験装置でサンプルケースにアルコール温度計の先端を挿入しドデカンで満たしたものを撮像し、各計測時に RF コイルからサンプルを取り出し計測した。縦軸をサンプルの温度、横軸を計測時間として図 4 に表した。図 4 から、サンプルの温度は長時間撮像しても、低温室の室温 -5°C とほぼ同じ値であり続けることがわかる。50～150 分の間にわずかに温度の上昇が見られるが低温室の冷却システムがファンを使用した対流式のため、室温の変化がサンプルの温度に影響したと考えられる。

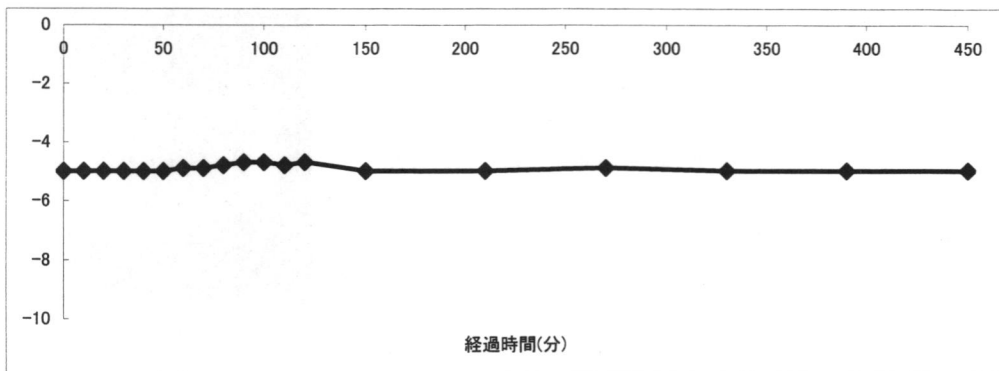


図 4 撮像時のサンプルの温度変化

本研究で用いる RF コイルは、サンプルの形状による設定の変更やメンテナンスの利便性を追求し自作している。使用されるサンプルのサイズが小さいこと、静磁場に対して直行する軸をもつことからソレノイドコイルを採用している。

試験的なサンプルとして、オクラやコオロギなどの NMR 信号がそのものから得られものだけでなく、巻貝やアクリル製のネジなど NMR 信号を得ることができないサンプルを積雪と同様のドデカンでみたす方法によって撮像することに成功している(図 5)。

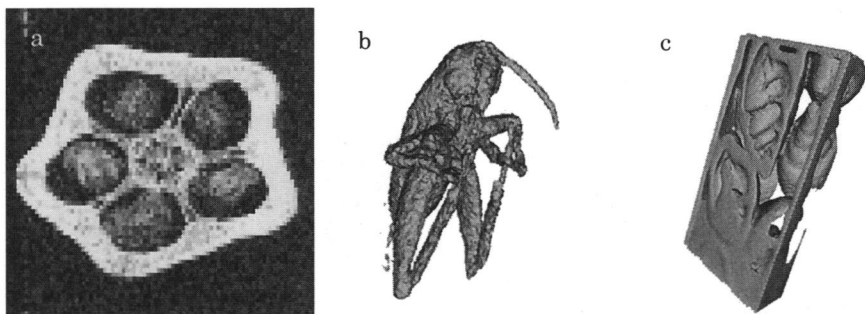


図 5 低温室用小型 MRI 装置で撮像した画像 (左から、a:オクラ、b:コオロギ、c:巻貝)

4. 今後の課題

現在は氷粒の三次元撮像を行っているが(図 6)、ゆがみやアーチファクトが見られ、三次元構造が正確に再現されていない(図 7)。今後は適切なシーケンスの選択、精度の高い RF コイルの製作、SHIM コイルによる磁場の補正を行い、画質の向上と撮像時間の短縮を目指す。また、積雪の可視化だけでなく、飛沫着氷内のブラインの可視化に向けて装置の開発を進める。

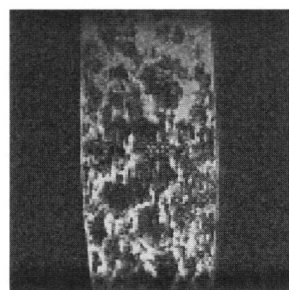


図 6 氷球の画像
(黒:氷球 白:ドデカン)

5. 参考文献

- 1) 尾関 俊浩 (2001): 核磁気共鳴画像法によるしもざらめ雪の可視化実験、寒地技術論文・報告集 vol.17, 104-109
- 2) Ozeki T., Kose K., Haishi T., Nakatsubo S., Nishimura K., Hachikubo A., (2003): Three-dimensional MR microscopy of snow structures, Cold Reg. Sci. Tech., 37, 385-391.
- 3) MRI レクチャー 基礎から学ぶ MRI 日本磁気共鳴医学学会 教育委員会 編 犬伏俊郎: インナービジョン, pp187
- 4) NMR イメージング 2004 巨瀬勝美著: 共立出版, pp214
- 5) 日本工業規格「磁気共鳴画像診断装置-安全」(JIS Z4951:2004)

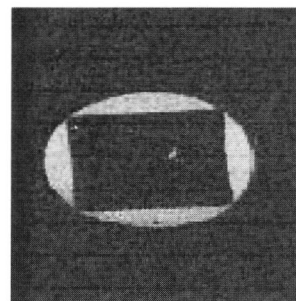


図 7 1 辺 1cm のアクリルキュービック撮像時のゆがみ