

## 磁石片と SQUID を用いて、繊毛運動を測定する

牧島 亮太、小山 大輔、河合 淳、辰巳 仁史  
(金沢工業大学)

Remote sensing of ciliary beating with magnetic sensors

R.Makibatake, D.Oyama, J.Kawai, H.Tatsumi  
(Kanazawa Institute of Technology)

### はじめに

哺乳類の脳室内にある繊毛運動は、脳脊髄液の循環を引き起こしており、ラットの側脳室の壁面に存在する神経芽細胞の移動に関係していることが報告されている<sup>1)</sup>。脳室内の繊毛運動に関する研究では、繊毛細胞を培養して研究が行われているが、非侵襲で測定する方法は今のところ知られていない。超高感度磁気センサである超伝導量子干渉計 (SQUID) とネオジウム磁石片を用いて、生体組織を貫き遠くまで伝わる磁場変化を利用した脳室内の繊毛運動を非侵襲で測定する技術を開発した。

### 実験方法

図 1-A-b のように、繊毛に直径 100  $\mu\text{m}$  の磁石片を結合させ、繊毛運動に伴う磁石片周囲の磁束密度の変化を超高感度磁気センサによって測定し、ラットの体外に置いたセンサにより非侵襲測定が可能であることがわかった。この非侵襲測定法に必要な要素は、3つあり、(1) 磁束密度の高く小さい磁石片の作成、(2) 高感度な磁気センサ、(3) 磁石片を繊毛表面に結合させる方法である。これら3つの要素技術を組み合わせ、繊毛運動に伴う磁石片周辺の磁束密度の変化量を、高感度な磁気センサによって遠隔測定した。

### 実験結果

(1) ネオジウム磁石を $-80^{\circ}\text{C}$ に冷やしたハンマーで砕くことで、直径 100  $\mu\text{m}$  の磁石片を手に入れた。作成した磁石片の中から、磁束密度の高い磁石片を手に入れるための分離装置を開発した。(2) ジョセフソン

SQUID や、マグネトインピーダンス効果を利用した MI センサによる高感度な磁気測定装置を用いて高感度磁束密度測定が可能であることが分かった。(3) 細胞膜にある糖鎖に結合するレクチンというタンパク質を用いて、磁石片を脳室内の繊毛表面に結合させることができた。

磁石片の運動に伴う磁束密度の変化量を、SQUID から 10 mm 離れた位置から測定することができた。実際麻酔下のラットによる実験では、15 Hz の磁束密度の変化量を測定できた。また、同時にラットの心拍に対応する信号が重なって観察された。

### 参考文献

- 1) Sawamoto K. New Neurons Follow the Flow of Cerebrospinal Fluid in the Adult Brain. *Science*. 2006;311(5761):629-632. doi:10.1126/science.1119133.

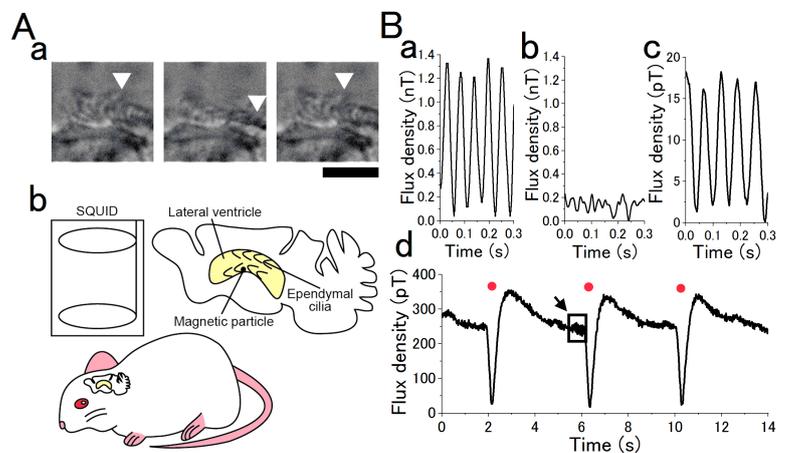


Fig. 1. Beating of ependymal cilia and remote sensing of beating. (A-a) Time-lapse images of an ependymal cilium, taken at 0.00 s, 0.03 s, 0.05 s from left to right. (A-b) A schematic block diagram of measuring the beating of ependymal cilia in the lateral ventricle of a newborn rat using the SQUID. (B-a) The magnetic signal from ependymal ciliated cells in the culture condition measured by the MI sensor. (B-b) The magnetic signal from a post-freezing and thawing sample. (B-c&d) A magnetic signal from ependymal cilia beating in a lateral ventricle of a live animal. Red dots in the panel (B-d) show the magnetic signal associated with the heart beat. The rectangle shown by the arrow is magnified and shown in panel (B-c). Scale bars in (A-a) 10  $\mu\text{m}$ .