

氷上で人や物が滑る理由

氷上で人や物が滑る原因は長年、人類の謎であった。定説として、圧力や摩擦熱で氷の表面に水の層が生じるというものがある。しかし、圧力で氷を融かすには人の体重を遥かに超える重さで圧力を与えなくてはならないということになる。また、摩擦熱がほとんど生じないような非常に遅い速度でも人や物はよく滑る。これらのことは上記の定説の反例である。つまり、人や物が氷上で滑る現象に水の層は関与しない可能性が高いのだ。この矛盾に気づき説明を与えた人物がファラデーである。ファラデーは0℃以下で氷の小片同士を接触させておくと結合するという現象を挙げ、0℃以下の氷の表面には「氷の表面を覆う水の層」が存在し、その水の層が再凍結することで結合するという説明を与えた¹⁾。

100年以上経過した現代、技術の進歩とともに、ファラデーの説明が正しかったことが続々に示されている。より正確には、「氷の表面の分子の振動」あるいは「氷の表面で水様にふるまう層」が氷上で人や物が滑る原因であることが分かってきた。本稿では、これらの研究成果について、簡単に紹介したい。

2021年、Lieberinkらは、アイススケートに見立てた装置を開発し実験を行った²⁾。温度・圧力・速度などの条件を振り様々な滑りを測定した。すると、温度を-100℃まで下げたとき、急に滑りが悪くなりアイススケートが不可能になった。氷の表面分子を調べたところ、やはり「水の層」は存在しなかった。そして、表面の水分子の振動の幅の変化が滑りやすさと関係することが分かった。装置による実験、およびシミュレーションにより検証した結果、氷が冷えて表面の分子振動が小さくなるにつれ、摩擦抵抗が増加した。

2024年、Hongらは、原子間力顕微鏡を使い、-123℃の氷の表面を詳細に観察した³⁾。すると-123℃の表面は結晶構造の異なる「2種類の氷」で構成されていた。この研究では、二つの領域のつなぎ目部分に、どちらにも属さない無秩序な水分子の存在を発見した。-123℃から少しずつ温度を上げると、無秩序な水分子の領域が徐々に拡大し、-120℃に達すると氷の全面を覆うようになった。彼らは、この拡大した無秩序な水分子こそ、ファラデーの言う「氷の表面を覆う水の層」の起源であるという説明を与えた。

人類の長年の謎が氷解した。私達が日常生活で接する氷はせいぜいマイナス数十度である。私達が普段接する氷は、「氷の表面で水様にふるまう層」で覆われている。

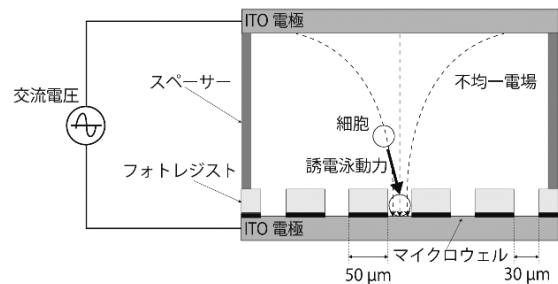
循環腫瘍細胞の分離と回収が可能なマイクロポアシステムの開発

大腸がん (CRC) は世界中で患者数が多く、特に進行したステージでは予後が悪いことが知られている。そのため、CRCの診断や治療において腫瘍の進行状況や転移の有無を正確に把握することが非常に重要である。腫瘍が他の臓器に転移する兆候を早期に検知するための方法として、循環腫瘍細胞 (CTC) の解析が注目されている。CTCは腫瘍から血液中に放出され、他の臓器への転移に関与する可能性がある。しかし、血液中に存在するCTCの数が非常に少ないため、CTCの効率的な捕捉・回収は技術的な課題となっている。

この課題を解決するために、Nomuraらの研究チームは誘電泳動に基づくマイクロポアシステムを開発し、CTCを効率よく捕捉・回収する技術を提案した¹⁾。誘電泳動とは、細胞や粒子が不均一電場に曝されると、その電気的特性に基づいて移動する現象であり、CTCのような希少な細胞を他の血液細胞から分離するのに適している。マイクロポアシステムは酸化インジウムスズ (ITO)

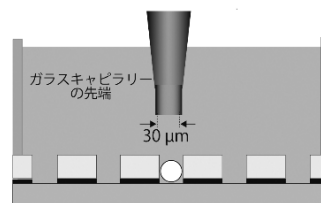
マイクロポアシステム

A



M. Nomura et al. *Biomimetics*. 11(1):203. (2023) に基づき作成

B



A. Morimoto et al. *PLoS One*. 10(6):e0130418 (2015) に基づき作成

図1 マイクロポアシステム

A) 細胞は誘電泳動の力によりマイクロウェル内に捕捉される：B) 捕捉された細胞はマイクロマニピュレーターによって回収される。(図はいずれもクリエイティブ・コモンズ・ライセンス (表示 4.0 国際)のもとに掲載を許諾されています <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

薄膜電極をコートしたガラス基板にフォトレジスト (SU-8) を使用して細孔をパターン化している (図 1)。上部基板は捕捉された細胞を自動マイクロマニピュレーターによって回収するために取り外しが可能になっている²⁾。

この研究では、ステージ II から IV の CRC 患者 24 名から血液サンプルを採取し、単核細胞を分離した。次に、マイクロポアシステム内に単核細胞を導入し 3 MHz の周波数で 3 分間、方形波の 20 V_{p-p} 交流電圧を発生させることにより、単核細胞を細孔内に捕捉した。腫瘍細胞を特定するため、抗 CD45 および抗細胞角質 (CK) 抗体を用いた免疫蛍光染色法を実施した。その結果、43 個の CTC が特定され、単一細胞解析のため、自動マイクロマニピュレーターによって回収された。PCR を用いた遺伝子解析の結果、KRAS, BRAF, PIK3CA などの代表的な遺伝子変異を特定することに成功した。これらの遺伝子変異は CRC の進行や治療法の選択に大きく影

響を与えるものであり、これらのデータは個別化医療の推進に役立つ可能性が高い。

この研究の最大のメリットは自動マイクロマニピュレーターによって単一細胞を回収し、単一細胞解析を容易にした点である。誘電泳動を利用した CTC の捕捉・回収技術は、CRC の診断や治療に有望な手法である。CTC の遺伝子解析や機能を調べることで、腫瘍の理解が深まり、個別化医療にも貢献できる。この技術は CRC だけでなく他のがんにも応用できる可能性があり、今後の研究が期待されている。

- 1) M. Nomura, Y. Miyake, A. Inoue, Y. Yokoyama, N. Noda, S. Kouda, T. Hata, T. Ogino, N. Miyoshi, H. Takahashi, M. Uemura, T. Mizushima, Y. Doki, H. Eguchi, H. Yamamoto : *Biomedicines*, **11**, 203 (2023).
- 2) A. Morimoto, T. Mogami, M. Watanabe, K. Iijima, Y. Akiyama, K. Katayama, T. Futami, N. Yamamoto, T. Sawada, F. Koizumi, Y. Koh : *PLoS ONE*, **10**, e0130418 (2015).

[兵庫県立大学大学院理学研究科 磯崎 勇志]

『ぶんせき』再録集 vol. 1 出版のお知らせ

ぶんせき誌の過去記事の有効利用の一環として、『ぶんせき』再録集 vol. 1 が出版されました。2011 年から 2020 年まで、10 年間分の〈ミニファイル〉の記事が詰まっています。

下記 10 章からなり、それぞれ 12 から 14 の話題が集められています。

1. 実験器具に用いられる素材の特徴, 2. 分析がかかわる資格, 3. 顕微鏡と画像データ処理, 4. 最新の web 文献検索データベース, 5. ポータブル型分析装置, 6. 分析化学と材料物性, 7. 分析化学者のための多変量解析入門, 8. 土壌分析, 9. サンプリング, 10. 前処理に必要な器具や装置の正しい使用法。

本書はアマゾンオンデマンド出版サービスを利用して出版した書籍ですので、書店には並びません。アマゾンサイトからのネット注文のみとなりますので、ご注意ください。詳しくは「ぶんせき」誌ホームページをご確認ください。