

1. シリーズ Vol. 2 の開始にあたって — MR 技術の発展をたどる全 24 回の概要

MRI は
どのように
発展して
きたか!

巨瀬 勝美 筑波大学数理物質科学研究科教授



はじめに

1973年にMRIが提案されてから、約40年が経過した。この間のMR技術の発展は誠に目覚ましく、現在のMRIの全貌をとらえることは、個人的能力を超えるところまで来ている。一方、私が、1981年に物理系の大学院博士課程を修了して就職し、MRIの研究開発をスタートさせたときは、10編ばかりの原著論文を読めば、MRI技術の全貌を、おぼろげながらもとらえることができた。この間のMRIの飛躍的発展を如実に示す画像を図1に示す。これらの画像は、私が日本最初の臨床機(0.12T)を開発していたときの画像(図1a)と、2年くらい前に、最新の3T MRIで撮像したほぼ同じ部位の画像である(図1b)。

さて、以上のような現状で、MR技術の全体像をとらえるためには、何冊かの教科書やレビュー論文を読むだけでは不十分であり、やはり、原点(原典)に立ち返り、原著論文を組織的に、時代を追って丹念に読んでいくのが近道ではないかと考える。ところが、原著論文をじっくり読むことは、非常に時間がかかり、特に若い学生諸君にとっては、しばしば大変つらい作業であろう。

そこで、この作業のハードルを少しでも下げるために、現在のMR技術を作り上げた歴史的論文を組織的にピックアップし、特定のテーマに沿って面白く紹介する企画を考案した。この論文の選択に関しては、その重要性だけでなく、その客観的指標である引用回数に注目したが、これらは、引用回数が数百回前後の大

論文(なかには1000回を超えるものもある)がほとんどである。以下に、企画全体の概要を紹介するが、論文の後に示す数字は、2011年初頭における引用回数である。



第2～6回の内容

第2回目は、まず「MRIのビッグバン」と題して、MRIを提案した1973年のLauterburの論文(1330)と、同じく、MRI開発に決定的な影響を与えた1971年のDamadianの論文(828)を紹介する。この2人は、同じ大学の所属であったが、ノーベル賞受賞直後の有名な事件も含め、かなり確執があったようである。

第3回目は、「Mansfieldの業績」と題して、Lauterburと同時にノーベル賞を受賞したMansfieldの業績について紹介する。彼のMRIに対する貢献にはさまざまなものがあるが、その中から1974年の選択励起法の論文(153)と1977年のEPI(echo planar imaging)の論文(513)を紹介する。

第4回目は、「MRIの実用手法の確立」と題して、1975年のErnstらのFourierイメージングの論文(558)と、実用的イメージング手法(spin warp法)を確立した1980年のEdelsteinの論文(565)を紹介する。

第5回目は、「MRIを支える基礎技術(1):スピネコー」と題し、1950年のHahnのスピネコーの論文(2985)、1954年のCarrとPurcellの論文(3026)、そして、CPMG(Carr-Purcell-Meiboom-Gill sequence)で有名な1958年のMeiboomとGillの論文(引用回数不明)を

紹介する。これらは、MRIの論文ではないが、現在でも価値を失わない大変有益な論文である。

第6回目は、「MRIを支える基礎技術(2):RFコイル」と題し、MRIにおけるRFコイル設計の基礎となった1976年のHoultの論文(859)と、ボリウムコイルの標準となったBirdcageコイルを提案した1985年のHayesの論文(385)を紹介する。



第7～12回の内容

第7回目は、「初期の臨床トライアル」と題し、マルチスライス・マルチエコーの標準的臨床撮像法の確立に大きな影響のあった1981年のCrooksの論文(W.I.P.のためか引用回数不明)と、STIR(short TI inversion recovery)など、inversion recoveryの臨床応用に道を開いた1985年のBydderの論文(333)を紹介する。

第8回目は、「ケミカルシフト?」と題し、CSI(chemical shift imaging)の一般的方法を提案した1982年のBrownの論文(726)と、水・脂肪分離画像法を提案した1984年のDixonの論文(766)を紹介する。

第9回目は、「グラディエントエコー法」と題し、グラディエントエコー法の端緒を切り拓いた1986年のHaaseのFLASH(fast low angle shot)の論文(721)と、FISP(fast imaging with steady precession)の最初の提案となった1986年のOppeltの論文(引用回数不明)を紹介する。

第10回目は、「高速スピネコー法」

と題し、FSEの基礎であるRARE (rapid acquisition with relaxation enhancement) を提案した1986年のHennigの論文(1044)と、FSE (fast spin echo) の普及へとつながった1990年のMulkernの論文(179)を紹介する。

第11回目は、「RFコイルの技術革新」と題し、アレイコイルを提案した1990年のRoemerの論文(620)と、高温超伝導体を用いたRFコイルを初めて報告した1993年のBlackの論文(148)を紹介する。

第12回目は、「拡散イメージング」と題し、拡散計測の記念碑的論文となった1965年のStejskalの論文(3715!)と、画素内の不規則な分子運動(流動)の本質をとらえ、ADC (apparent diffusion coefficient) として表現したLe Bihanの1986年の論文(1149)を紹介する。



第13～18回の内容

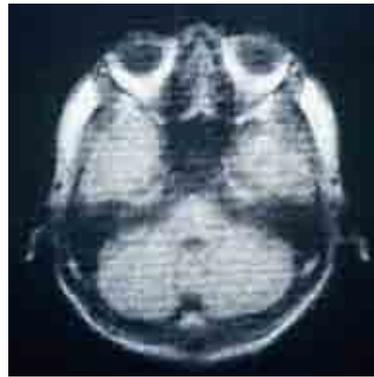
第13回目は、「MR Angiographyの古典」と題し、位相を用いたMRAを提案した1986年のDumoulinの論文(319)と、流入効果を利用したMRAを提案した1988年のLaubの論文(232)を紹介する。

第14回目は、「勾配コイルを支えた技術」と題し、磁場計算に、target field法という逆問題的手法を初めて提案した1988年のTurnerの論文(88)と、勾配コイル技術に画期的進歩をもたらした、1986年のMansfieldの遮蔽型勾配コイルの論文(109)を紹介する。

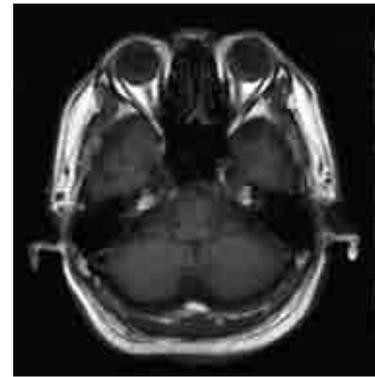
第15回目は、「EPIの実用化」と題し、それまでの常識を打ち破り、2Tにおいて胸部のEPI画像を取得した1987年のRzedzianの論文(109)と、MansfieldのグループによるEPIの成果である1991年の論文(265)を紹介する。

第16回目は、「functional MRI」と題し、小川誠二先生の1990年のBOLD (blood oxygenation level dependent) 効果の論文(1810)と、1992年の最初のfMRI実験の論文(1690)を紹介する。

第17回目は、「拡散テンソルの誕生」と題し、拡散テンソルの重要性を初めて指摘した1994年のBasserの論文



a: 1982年のT₁強調画像(0.12T)



b: 2008年のT₁強調画像(3T)

図1 1982年に国内初の臨床機(0.12T)で撮像した私の頭部断層像と、2008年に最新の3T MRIで撮像したほぼ同じ部位の画像
ただし、1982年にはT₁強調画像という言葉はなかった。

(1070)と、ネコの脳の拡散テンソル画像を示して、拡散テンソルの有用性を示した1996年のBasserの論文(1146)を紹介する。

第18回目は、「MRIの救世主?」と題し、MRIにおける感度の問題を根本的に解決する超偏極的手法を用い、¹²⁹Xeを用いた画像を初めて報告した1994年のAlbertの論文(486)と、hyperpolarized ³Heを用いた画像を初めて報告した1995年のMiddletonの論文(259)を紹介する。



第19～24回の内容

第19回目は、「パラレルMRI」と題し、パラレルMRIの事実上の出発点となった1997年のSodicksonの論文(836)と、パラレルMRIの主流となったSENSEを報告した1999年のPruessmannの論文(1666)を紹介する。

第20回目は、「造影MRAと非造影MRA」と題し、造影MRAを提案した1994年のPrinceの論文(579)と、非造影MRAを提案した2000年のMiyazakiの論文(39)を紹介する。

第21回目は、「非デカルト座標系におけるサンプリング」と題し、スパイラルスキュアの提案を行った1986年のAhnの論文(185)と、プロペラの提案を行った1999年のPipeの論文(187)を紹介する。

第22回目は、「高磁場への挑戦」と題し、4Tの全身用MRI開発を報告した

1992年のSchenckの論文(50)と、8Tの全身用MRI開発を報告した1998年のRobitailleの論文(56)を紹介する。

第23回目は、予備とし、それまでに紹介できなかったり、見落としていた重要論文〔例えば、SWI (Susceptibility-weighted imaging) など〕を紹介する予定である。

第24回目は、2年間にわたる連載を振り返った感想と、可能であれば、次のシリーズへの展望を述べたいと考えている。



むすび

これから2年間で連載するシリーズの内容を概観した。紹介する論文は全部で50編程度であり、現時点で、これらをきちんと読んでいないわけではなく、今後2年間かけて精読することにより、かなり勉強になるのではないかと、自分自身、大いに楽しみにしている。

(続く)



巨瀬 勝美

1976年東京大学理学部物理学科卒業。81年に東京大学大学院理学系研究科修了、同年東京芝浦電気(株)総合研究所研究員となる。86年に筑波大学物理学系講師となり、94年筑波大学物理学系助教授、2001年筑波大学物理学系教授、2004年から現職。