

The Magnetic Health Science Foundation Newsletter

磁気と健康

No.28

磁気科学健康セミナーレポート
うつ治療の最前線

新宿ストレスクリニック本院 院長 川口 佑

学術報告
**動物の磁気感受と
化学反応の磁場効果**
埼玉大学 准教授 前田 公義

特別寄稿
**磁気治療及び福祉工学の
将来的展望**
東京電機大学 教授 十肥 健純

2016

目次

理事長挨拶	1
平成27年度助成金授与式レポート	2
平成27年度研究助成金授与者のご挨拶	6
磁気健康科学セミナー「うつ治療の最前線」（新宿ストレスクリニック本院 院長 川口佑）	9
瑞宝中綬章 受章特別インタビュー（理事長 小谷誠）	14
磁気コラム「磁気の不思議な力」	17
特別寄稿「磁気治療及び福祉工学の将来的展望」（東京電機大学 教授 売肥健純）	18
学術報告「動物の磁気感受と化学反応の磁場効果」（埼玉大学 准教授 前田公憲）	22
役員一覧	28
賛助会員入会／ホームページのご案内	29

健康長寿社会の実現に向けて

理事長 小谷 誠
東京電機大学 名誉教授



世界最先端の医療技術やサービスによって健康長寿社会を実現し、経済成長への寄与を目的とした「健康・医療戦略」が昨年、閣議決定され「健康・医療戦略推進法」が制定されました。世界最高レベルの平均寿命を誇る日本の社会において、国民が更に健康な生活及び長寿を享受することができる健康長寿社会を政府主導のもとで実現していくものです。

わが国は、毎年平均寿命を更新し、総人口に占める高齢者（65歳以上）の割合が2015年で約27%となっており、2060年には約40%に達すると言われています。世界に先駆けて超高齢化社会を迎える課題先進国「日本」において、世界最先端医療の提供と医療産業の創出はとても重要なテーマだと思っております。

世界最先端医療として注目されているのが「再生医療」です。再生医療につながるiPS細胞を発見した京都大学 山中教授のノーベル賞受賞は記憶に新しいところですが、医療分野における日本の基礎研究のレベルは、世界でも高く評価されています。近年、この再生医療の分野においてiPS細胞と磁気（磁性ナノ粒子）を利用した研究がはじまりました。当財団の平成28年度助成研究にもiPS細胞を題材にした研究があり、将来的にとても興味もしく思います。

今後、政府はレベルの高い日本の基礎研究を礎に、新しい医薬品・医療機器の開発及び革新的な医療技術の形成に向けてプロジェクトを加速していくことになります。当財団の助成研究はこれまでに263件となりましたが、このような状況下で
磁気の研究成果が最先端の医療や健康長寿社会に
貢献できるよう切に願っております。

当財団は、今後も更なる発展を目指し、
健康で豊かな国民生活の実現と経済社会への
貢献ができるよう、より一層努力してまいりますので、皆様にはご支援とご協力を
賜りますよう何卒お願い申し上げます。

第22回 平成27年度研究助成金授与式及びセミナー

主催：(公財) 磁気健康科学研究振興財団 共催：(株)NIKKEN



公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団

平成27年度助成金授与式

平成28年3月15日、東京の経団連会館カンファレンスにおいて第22回研究助成金授与式並びに磁気健康科学セミナーが開催されました。懇親パーティーも同時に開催され、会場は研究者の方と共に多数の賛助会員の方で賑わいました。

今年度も多数のご応募をいただき、助成対象となった研究は10件、助成総額は1,000万円となりました。



M 第22回研究助成金授与式

今年度は10名の研究者の方々へ研究助成金が贈呈され、将来の医療に貢献できる研究が多く見られました。

また、授与者の方々のスピーチからは熱意の有り難さについて、明確なビジョンを持って研究に取り組まれていることが感じられました。



平成27年度 第22回 助成研究一覧表(取扱略)

基礎研究

福岡歯科大学 口腔衛生学部 歯科医療工学科
准教授 荒平 高章
人工歯骨～骨組織創製のための組織工学に基づく臨床例導出装置の開発

東京大学大学院 医学系研究科
助教 佐々木 拓哉
地図気泡情報を用いて脳腫瘍を同定する
大阪大学大学院 医学系研究科 心臓血管外科学講座
特任研究員 三輪 佳子
陽性導粒子を用いた移植再生心筋のMRI-CTangiogramへ心臓再生医療の革新技術の開発

指定テーマ研究

東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻
特別研究員 中川 則人
麻薬利尿による奇跡的経典當性変調のための最適利尿部位の検討

応用研究

成蹊大学大学院 医学研究科 腹腔鏡外科学講座
准教授 宮里 実

加熱による過活動膀胱への腎結石症神経調整的新システムの確立

千葉大学大学院医学研究科 神經内科学
助教 渋谷 和幹
革新的緩慢無駄氣利尿施設による新規慢性腎硬化解消手術手術

大阪府立急性期総合医療センター 乳腺外科
主任医長 元村 和由
耐性株が粒子造影剤を用いた核磁気共鳴画像法(MRI)による乳がんセントラル節の転移率(メタ分析)と転移診断法の開発・乳がん腋窩手術の改善を目指して

東京慈恵会医科大学 リビングラボ医学講座
助教 山田 閑基
高次臓器障害に対する新物質および経隔面吸収利尿法の臨床応用

信州大学学術研究院 工学系
准教授 田代 智久
ガス吸入装置の體内長時間停滞を解消する吸気ガスリサイクル装置の開発

名古屋市立大学大学院 医学研究科 耳鼻咽喉・頭頸部外科学講師 稲垣 敏
末梢性顔面神經麻痺におけるTMSを用いた新たな治療法の開発とその評価

主催：(公財) JST

根本審査委員より、審査結果の説明がありました。





M 磁気健康科学セミナー

近年、100万人を突破し社会問題化するうつ病の現状について「薬を用いない、磁気によるうつ治療」をテーマに、うつ病の最新治療としてTMS(経頭蓋磁気刺激治療)による多くの治療実績などを詳しくご説明していただきました。

講演後、皆さんから予定の時間を超える程のたくさんのご質問をいただき、熱意と関心の高さが伺えるセミナーとなりました。

講演テーマ

うつ病治療の最前線

薬を用いない、磁気によるうつ治療

新潟ストレスクリニック 本院

院長 川口 佑



M 懇親パーティー

賛与者の皆さまを中心のご講演いただいた川口先生、
役員の方、賛助会員など、例年以上にたくさんの方々に
お集りいただき、会場内は大いに盛り上がりました。





平成27年度 研究助成金授与者のご挨拶

今年度の助成金授与者の
方々から今回、授与対象となった
研究内容および、今後の抱負などについて
授与式にてスピーチいただきました。

千葉大学大学院医学研究院
神経内科学

助教 滝谷 和幹

革新的斜面頭頸気管鏡検査による
筋萎縮性側索硬化症発症予後予測



私は筋萎縮性側索硬化症 (ALS) という神經難病を中心、これまで研究を行ってまいりました。ALSは運動神経が徐々に変性脱髓し、呼吸不全により約3年で死に至る疾患です。その原因は完全には解っていないものの、運動神経の過剰興奮性が考えられています。私は2014年からシドニー大学に留学し、難聴追跡法(脳波と2連発磁気刺激検査と呼ばれる最新の検査手法)について学んできました。今後この研究助成を活用し、この手法を用いて運動神経興奮性と病程進行の関係を検討する予定です。この研究は、ALSにおける神經興奮性の治療バイオマーカーとしての有用性を明らかにできる可能性があると考えております。

名古屋市立大学大学院
医学研究科 耳鼻咽喉・頭頸部外科

准教授 稲垣 彰

末梢性顔面神經麻痺におけるTMS
を用いた新たな治療法の開発とその
評価



私は普段は耳鼻咽喉科医として薬物、手術による顔面神經麻痺治療を行っておりますが、現在利用できるすべての治療手段を用いても治療には限界があるとされ、病因にもよりますが概ね1割程度の患者さんは後遺症が残ることが知られております。

既存の治療で救済されない患者さんに対して今回助成を頂きました研究課題であります。我々の進める経頭蓋磁気刺激法が新たな福音となるよう、今後も努力する所存です。

この度は誠に有難うございました。

東京大学大学院
薬学系研究科

助教 佐々木 拓哉

地磁気情報をコードする細胞を
同定する



私の研究テーマは地磁気情報をコードする細胞で、ネズミを使った研究を行っています。地磁気情報というと鳥などは地磁気情報を感じることが広く知られていますが、マウスやラットの哺乳類にどれほどのコードが脳にあるのかは、まだ解明されていません。私たちの研究室では「本当にそういう細胞が脳の中にあるのか?」という挑戦的な研究テーマとさせていただきましたが、本当の意味で結果は分かりません。しかしながら、そういういたチャレンジングなテーマで助成金を賜りましてどうもありがとうございます。これは基礎研究なので、今後、すぐに医療に直結するようなタイプの研究ではありませんが、少しずつ基礎研究を積み重ねていきたいと思いますのでどうぞよろしくお願いいたします。

信州大学学術研究院

工学系

准教授 田代 駿久

カプセル内視鏡の腸内長時間停滞を
解消する磁気バフーリング装置の開発



今回の共同研究者である藤田保健衛生大学 大宮先生から「ちょっと、困っている。助けてくれないか?」というお話をありました。大腸用内視鏡カプセルは、大腸がんを防ぐためにとても有効な手段となっており、1年間から保険が適用になっています。ただ、保険適用になってから問題となっているのが、どうしても被験者の2割の方が、腸内でカプセル内視鏡が詰まり長時間停滞を起こしてしまうことです。「磁気の力で何とかできないか?」というご相談でしたので、その時は全く違う研究を行っていましたが、直ぐに取りかかるうと思い、半年ぐらいで磁気研究を立ち上げました。今後は発想の転換から磁気を用いた解決法をいち早く実証することを目的にがんばっていきたいと思います。

東京慈恵会医科大学
リハビリテーション医学講座

助教 山田 尚基

高次脳機能障害に対する薬物および
經頭蓋磁気刺激療法の臨床応用



東京慈恵会医科大学リハビリテーション医学講座では脳卒中後遺症の上肢麻痺とか失神症や嚥下障害に対してTMS治療を行っています。小児から大人まで使うストラテラというA D H D 、注意欠陥・多動性障害に使う薬を用いて脳血流を増やしながらTMSを使うことによって、脳の可塑性がさらに増えて高次脳機能障害である片癡障害や記憶障害などが治ることを目指しながら、脳卒中後の治療を行いたいと思います。この助成金を基にして、今後は再生医療ともコラボレーションしながらリハビリテーションを行い、脳の再生において医学研究に貢献できるように進歩していきたいと思っております。

東京大学大学院
総合文化研究科 心理科学専攻

特別研究員 中川 剣人

磁気刺激による脊髄神経興奮性変調
のための施設部位の検討



私の研究は、TMSによって神経系の可塑性を調導する研究ですが、脳ではなく、腰部の脊髄に磁気刺激を行い、脊髄の神経系にアプローチするものです。TMSは脳への刺激を行う研究が圧倒的に多いのですが、脊髄への刺激という研究はほとんど行われてないため、どの箇所に、周波数や強さなどどのような刺激を行ったら、脊髄の神経系の可塑性の誘導に最適なのかということを調べていきたいと思っています。これにより、脊髄損傷の患者さんへの治療につながるような研究になれば良いと思っております。

福岡歯科大学
口腔医学部 歯科医療工学科講座

助教 荒平 高章

人工歯骨-骨組織創製のための組織
工学に基づく磁場刺激装置の開発



今後、私が進めていく研究は、生体外で細胞と足場材であらかじめ骨と歯骨の人工組織を作り、それを患者に移植して患者さんの負担を出来るだけ軽減しようというものです。骨と歯骨の組織作成において、現在、力を加える力学刺激だったり、柔軟を加えて促進させるというような方法がとられていますが、私は磁場に注目して、その磁場による最短での組織作成を目指してがんばりたいと思います。

今後ともよろしくお願ひいたします。

大阪大学大学院
医学系研究科 心血管再生医学専門講座

特任研究員 三輪 佳子

磁性微粒子を用いた移植再生心筋の
ルーニング～心臓再生医療の基礎技術
の開発



私の研究は iPS 細胞を心筋に分化誘導しバーニングする事で治療や創薬のモニタリングに使える生体材料に導くことです。心筋の中には色々なサブタイプの細胞がありますが、それらを規則正しく並べるという事が、大事だと考えております。そのためにはそれぞれの細胞に磁性微粒子をつけて磁気で細胞を適切な部位にバーニングする事ができるのではないかと考え、チャレンジしていきたいと思っております。今後とも精進してまいりますので皆様よろしくお願ひいたします。

大阪府立急性期総合医療センター
乳癌外科

主任都巣 元村 和由

磁性体ナノ粒子造影剤を用いた核磁気共鳴画像法 (MRI) による乳がんとリンパ節の転移検出-ゲン-
と転移診断法の開発～乳がん臓
膜手術の回復を目指して～



私は 25 年前から乳腺外科、乳癌を専門とし、20 年前にアメリカで見たセンチネルリンパ節生検という手技を日本に導入しました。それまでは脇のリンパ節を全摘する治療法が標準治療で、リンパ浮腫により腕がむくみ、腕が上がらない、しづれて痛いなど様々な合併症が高頻度に残る手術をしていました。センチネルリンパ節生検は脇のリンパ節を 1 個か 2 個、取るだけで脇のリンパ節に転移があるかどうかの診断ができるという手技で今や日本でも標準治療となりました。10 年位前から磁性体ナノ粒子造影剤を用いた MRI と造影 CT を用いてそのセンチネルリンパ節の転移診断を画像だけ行う研究 (手術不要の診断法) を始めました。2 ~ 3 年前から良いデータが出てきたので、今回は日本でも広く普及している 1.5 テスラの MRI 装置を用いて新たに研究を始めます。画像だけでセンチネルリンパ節の転移診断を行って、脇にはメスを入れないという斬新な治療法がうまくいくのではないかと今から実感が湧いています。この手技を何とか成功させて日本そして海外にも発展させたいと思っております。

琉球大学大学院
医学研究科 腎泌尿器外科学講座

准教授 宮里 寛

加熱による過活動膀胱への磁気刺激
神経調整的新システムの確立



私は排尿の研究を専門にしております。ご存知のように 2015 年、80 歳以上の高齢者が 1,000 万人を突破し、日本は超高齢化社会となりました。その中で排尿障害の解消がいわゆる健康寿命の延命に寄与する或いは生命そのものにも影響することが分かってきました。その中で私は何とか薬に頼らない治療はないかと思い、磁気治療というものに目を向けました。今後の研究では、実際に難治性の頻尿や尿失禁の患者さんに仙骨領域の磁気治療を施し、臨床応用していきます。幸いなことに 2013 年に済用領域で泌尿器科領域は保険修正されています。実際に磁気治療が保険診療できるようになってきましたので、患者さんの実際の診療を通してエビデンスのほうを蓄積していきたいと考えております。この領域に関しての磁気研究をがんばっていきたいと思っていますのでよろしくお願ひいたします。

講演テーマ

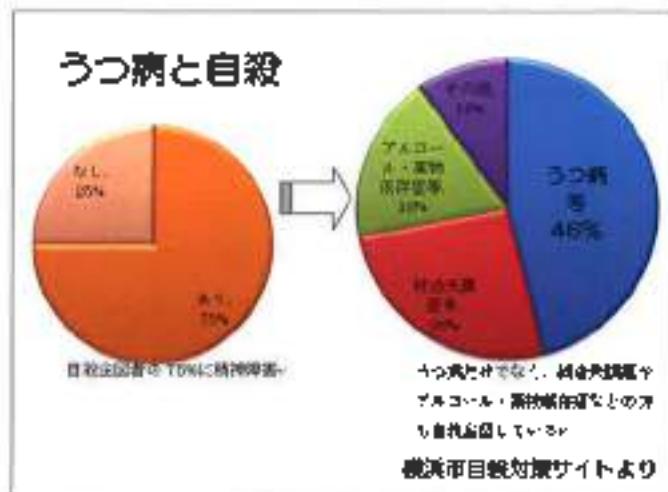
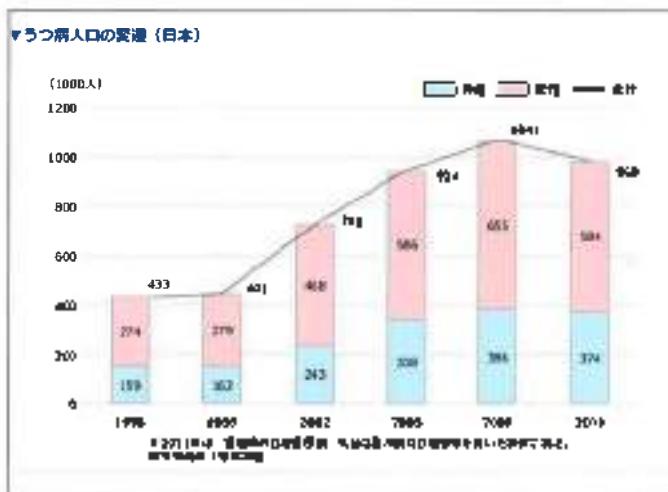
うつ病治療の最前線

「薬を用いない磁気によるうつ病治療」

新宿ストレスクリニック 本院
院長 川口 佑

うつ病人口の推移とストレスチェック

厚生労働省の発表によると 2020 年までに「メンタルヘルスに関する措置が受けられる職場の割合を 100%にする」という目標が掲げられました。現在の割合が 34% ので、約 6 割の会社がうつ病への本格的な対策を行っていないということになります。1996 年に 40 万人だったうつ病人口は年々増加していき、2008 年には 100 万人を突破しました。現在も 100 万人前後ですが、実際にはこの数倍の予備軍が存在しているといわれています。「うつ病」と「自殺」は切っても切れない関係にあり、年間 3 万人の自殺者の中で、75% が精神障害があり、その中で 46% がうつ病患者です。



うつ病とは

典型的なうつ病の症状は「朝早く目が覚めてしまう」「会社に行きたくない」「食欲が出ない」「仕事に集中できない」「友達には会いたくない」「眠れない」などの症状を繰り返すことです。うつ病になる人にはもともと性格に問題があるとされています、「秩序を重んじる」「他人に気を遣って頼まれると嫌と言えない」「まじめで正直で仕事に熱心で過度に良心的」「過極めて保守的で頑固でわがまま」という特徴を持っている方がうつ病になりやすいと言われています。うつ病はとてもやっかいな特徴を持った病気で、治療も非常に難しいのです。診断は問診に頼り、内科のような採血やレントゲンに代わるバイオマーカーという客観的なデータがないのです。話だけを聞いて何の根拠もなく診断しなければならないのです。

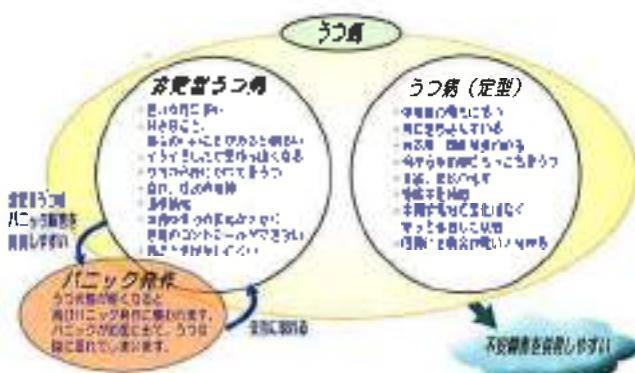
典型的なうつ病の症状



新型うつ病(非定型うつ病)

最近のニュースで、企業で働く若手社員の中に「新型うつ」と呼ばれる心の病が流行っているという記事がありました。正式には「非定型うつ病」と言われ、都合が良い時は元気で、都合の悪い時には落ち込むというように変動がかなり激しいのです。だから周りからは懲りてしているように見えます。この病気の難点は、患者が周囲の理解を得にくいことです。現在のうつ病のほとんどがこの非定型だと考えても言いすぎではないと思います。昔の典型的なうつ病（定型）を見ることがほとんど無くなっています。当院では主に非定型のうつ病を治療しています。

「非定型」うつ病（新型うつ）



うつ病と「セロトニン仮説」



セロトニンは幸せを感じる物質
これが減ることで幸福感が感じられなくなる

セロトニン

うつ病の原因の一つに「セロトニン仮説」という話が出でています。セロトニンは幸せを感じる非常に重要な物質です。脳の神経伝達物質であるセロトニンが増加すると神経の伝達が良くなり、幸福感を感じることができます。減少すると幸福感を感じにくくなります。これを「セロトニン仮説」と呼びます。ところが、最近はこのセロトニン、ノルアドレナリン、ドーパミンと病気との因果関係は無いのではという報告が増えてきています。抗うつ薬はセロトニンを増やす薬で、症状が劇的に改善することもあります。よって「セロトニン仮説」は全くの間違いではないと思いますが、うつ病治療では、セロトニン（抗うつ薬）だけでは解決できないことが多いことも事実としてあります。

うつ病と背外側前頭前野(DLPFC)

脳というのは前頭葉、側頭葉それから頸頂葉、後頭葉など色々なバランスに分かれています。前頭葉には感情を制御したり、パズルを解いたりする機能があり、色々な動物の中で人間はこの前頭葉の割合が一番大きく、人間らしさを作っている脳の部位だと言えます。うつ病の患者さんは健康な人と比べて前頭葉の機能が落ちて働いていません。もっと深く考察すると、ちょうどこめかみあたりにある背外側前頭前野(DLPFC)がストレス反応機構である扁桃体を制御しており、何らかの理由でこの背外側前頭前野(DLPFC)の機能が失われると扁桃体を制御することが出来なくなってしまい、不安や悲しみ、恐怖を抑えられなくなります。それがうつ病の原因ではないかという考え方切り替わってきており、セロトニンという考え方から脳の機能全体としての考え方へ変わってきています。TMSはこの背外側前頭前野(DLPFC)に対して歯突の信号を送って、機能を改善させることをもそのメカニズムとなります。セロトニンには直接触れませんが、結果的にセロトニンが増えた状態になります。

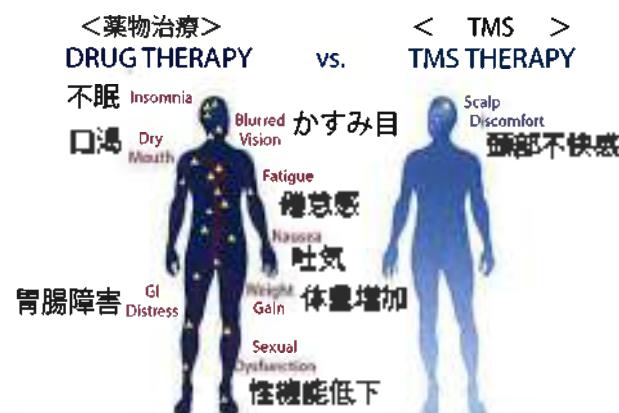
うつ病とDLPFC（背外側前頭前野）



TMSと副作用

TMSは「経頭蓋磁気刺激治療」が正式名称です。TMSは1回の治療時間が約40分で、磁気刺激を約4秒行い、26秒の休憩を繰り返しています。合計10～30回（通常1～3回）程度行いますので、治療期間としては数ヶ月から半年を要します。副作用はほとんど無く、妊婦さんや子供への治療も可能です。抗うつ薬というものは抗がん剤の後に副作用が多い薬です。抗うつ薬を飲むということは、抗がん剤を飲むことと意味はないのです。細胞を覗いたりはしないですが、副作用の出る頻度としては非常に多い薬なので、TMSが副作用がないというのはひとつ強みになります。

薬物治療の副作用



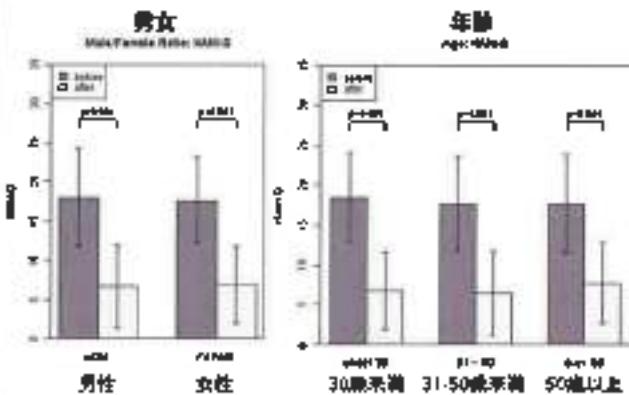
TMSの治療効果

患者に対する治療効果として昨年、米国臨床TMS学会で私が発表したデータをご紹介します。うつ病の重症度にHAM-Dという指標があります。ハミルトンうつ病評価尺度といふもので点数が10点以下で問題なし、11点～13点で軽度、14～16点で中程度と点数が高くなる程、重症度が上がっていきます。TMSの治療効果を「男女差」「年齢差」「重症度」「治療期間」「内服薬物」の条件のもとでTMS治療を30回行った患者160名のデータで評価をしました（下図参照）。どの条件下においてもHAM-Dはほとんど差がなく、10点以下に減少しています。

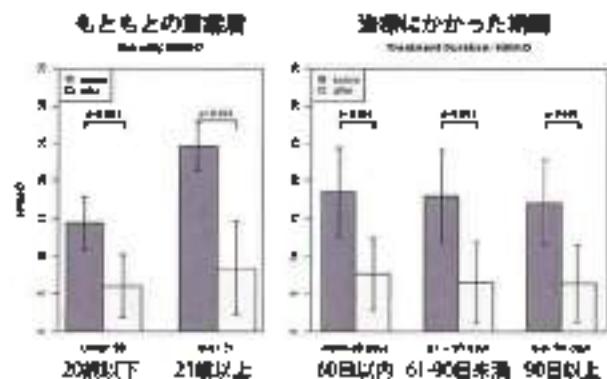
治療効果



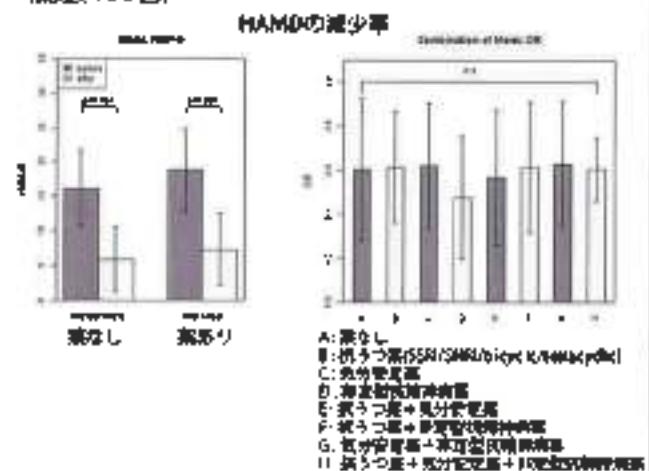
治療効果（男女差・年齢）（総数160名）



治療効果（治療前の重症度・治療期間）（総数160名）



治療効果（内服薬物）（総数160名）

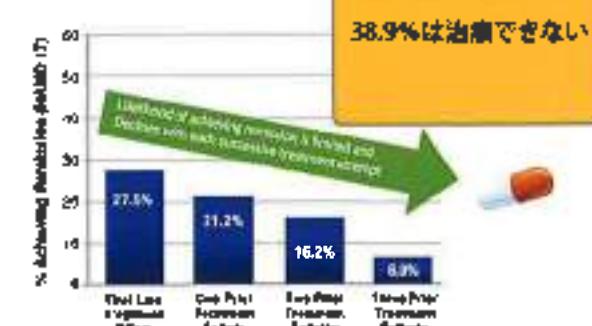


薬物治療との関係

うつ病治療の日本のガイドラインは、とにかくまずは薬物治療ということになります。アメリカももちろん同じです。薬物治療は脳の機能を矯正している訳ではなく、セロトニンの量を増やして対処しているだけなので、基本的に血圧の薬と同じ考え方です。しかし、ほとんどの場合「これでも、あれでもダメだった」ということで薬の飲用を繰り返します。医者に対する不信感が出てくるとカウンセリングも弱くなるので、うつ病の最初のハードルを越えることが非常に難しくなります。これを「薬物抵抗性うつ」と言いますが、実際、この最初のハードルを越えられない割合は約4割弱となります。薬物治療の限界ですが、アメリカのSTAR*Dの研究で、最初のうつ病の薬により27.5%の人が良くなりましたが、良くなかった残りの人にはどんどん薬を追加していきます。

結局、約1割弱の人はどのような薬でも反応しない、治療のできない状態になります。アメリカのガイドラインでは1種類目の抗うつ薬を飲んで、副作用が発生し、効果がなかっただらTMSを勧めています。日本は1種類目で効果がないれば2、3種類と薬の量を増やしていく多剤併用の状態となります。基本的に1種類目で効果がなければ、早めに薬物抵抗性を考えて対処しないと、副作用で悩やまされるようになります。そこがうつ病治療の難しさでもあると思います。薬物治療のうつ病の再発率ですが、およそ25年で90%は再発します。10ヶ月で見ても40%が既に再発しています。やはり、薬はその場の症状を抑えるというイメージが強いと思います。TMSは約10%くらいの再発率です。0ではありませんが、10%ぐらいまで抑えることが可能です。

薬物治療の限界

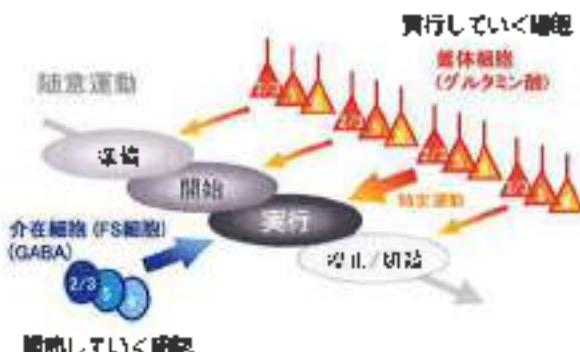


STAR*D Study demonstrates that current treatment has limited effectiveness
Tran D, et al. J Psychiatry Res. 2008; 44: 1-10. doi:10.1016/j.jpsychiatry.2007.09.001

TMS治療の考え方

脳細胞には様々な種類がありますが、色んなことを実行する細胞が「錐体細胞」です。その実行をコントロール（調節）する細胞が「介在細胞」です。車に例えると錐体細胞がアクセル、介在細胞がハンドルやブレーキのようなものです。錐体細胞の能力が落ちるということはほとんどありません。もちろん脳梗塞が起これば別ですが、機能障害のほとんどは介在細胞に異常が出てくることが多くなります。TMSはこの介在細胞の機能を上げることにより錐体細胞を調整するという仕組みです。アクセルの性能を上げていくのではなく、制御するブレーキやハンドルを良くすることがTMS治療の根本的な考え方です。

脳の神経細胞



TMSの今後の展望

うつ病は年々増加傾向で、その多様化によりうつ病そのものの診断も難しくなっていますが、TMS治療は薬物抵抗性慢性うつ病に有効で、能力も調整することができます。脳卒中後のリハビリ運動、パーキンソン病、認知症の予防、難治性の疾患、自閉症や自閉症スペクトラム障害という発達障害の治療にも使われ始め、最近では神経の可塑性を良くする事が東大の研究で報告されています。今後は適用疾患が拡大していくと思われ、現在は保険申請に向けて動き出しています。様々な治療実績や研究結果によってTMSの有効性が明らかにされていますので、今後も色々な疾患に対して治療できる事を期待しています。



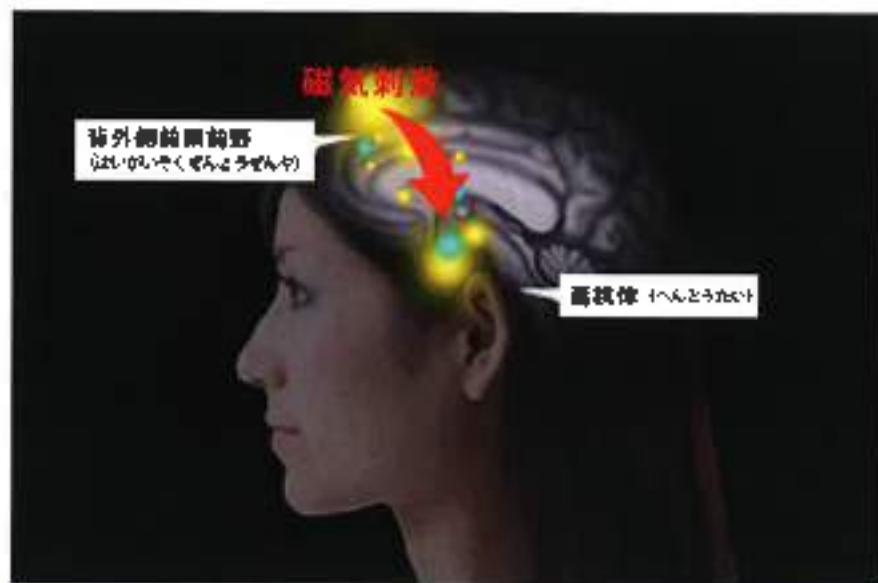
新宿ストレスクリニック 本院
院長 川口 佑

日本内科学会認定医
日本腎臓学会専門医
日本透析医学会専門医
米国臨床TMS学会会員

経歴 2006年3月 筑波大学医学専門学群 卒業
2006年4月 静岡県立総合病院 初期研修
2008年4月 静岡県立病院機械勤務
静岡県立こころの医療センター
静岡県立総合病院内科
(腎臓内科・総合診療科・救急科)
2011年4月 品川スキンクリニック 心療内科
2013年9月 新宿ストレスクリニック本院 院長

磁気刺激治療器によるうつ治療

磁気刺激によるうつ病治療は「背外側前頭前野（はいがいせきぜんとうぜんや）」に磁気刺激を与えます。刺激は神経細胞を通じて、さらに深部にある感情をつかさどる「扁桃体（へんとうたい）」に二次的な刺激を与え、脳の活動を回復させる治療です。



磁気刺激治療器

1.5テスラの強磁場をパルス波(1~20Hz)によって発生させて、脳に刺激を与えて治療します。大変高額な治療器ですが、新宿ストレスクリニックには60台が常備されています。



磁気発生部

磁気発生部を直接頭部にあてて治療します。1回40分程度の刺激を与えます。

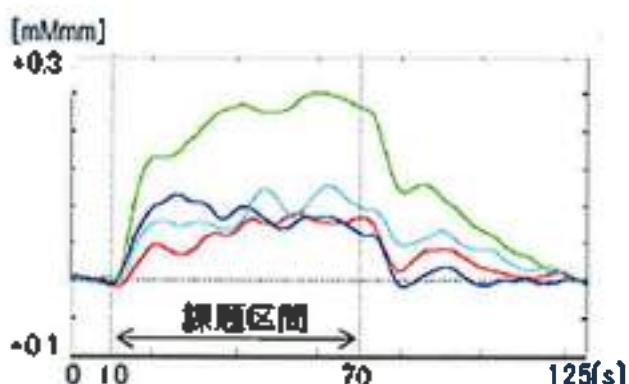
光トポグラフィー検査

光トポグラフィー検査は安全な近赤外光で脳の血流を測定して、經常、うつ病、双極性障害（躁うつ）、統合失調症をそれぞれ判別する検査です。



光トポグラフィー装置

測定の様子



光トポグラフィー波形（群平均、前頭部チャンネル
領域の微弱化ヘモグロビン）
うつ病の症状・状態が客観的にグラフでわかります。

- | | |
|-------------|-------------------------|
| （緑色）正常者 | : 動活が大きい |
| （青色）大うつ病性障害 | : 動活が小さい |
| （水色）双極性障害 | : 潜時間が遅延 |
| （赤色）統合失調症 | : 動活が小さく、調節終了後の再上昇を認める。 |

小谷理事長が瑞宝中綬章を受章

当財団の理事長である小谷 薫先生が平成27年度秋の叙勲「瑞宝中綬章」を受章されました。瑞宝中綬章は、國家または公共に対し功労のある方のうち、公務等に長年にわたり従事し、立派な成績を挙げた方へ授与されます。

小谷先生は東京電機大学の学長を務められ、更に数々の研究成果を残されてきた功績によって叙勲されましたが、実は「大学までは勉強嫌いで田舎の中学校での成績はクラスで最低だった」という意外な一面をお持ちだったようです。受章に際してのご感想やこれまでのご功績などを語っていただきました。

瑞宝中綬章の受章おめでとうございます。今のご感想をお聞かせください。

最初に受章の話があったときはとても驚きました。若い頃からお世話をになった人工臍器の分野で世界的に有名な東京大学名誉教授が瑞宝中綬章を受章されていましたので、まさか私が同じ瑞宝中綬章をいただけるとは思いも寄りませんでした。勢い無量の想いです。

受章は皇居で行われましたか。

国立劇場で文部大臣による受章式が行われ、そこからバスで皇居に移って天皇陛下よりお喜葉をいただきました。天皇陛下には以前に幾度かお会いしたことがありました。皇居に入ったのは初めてだったので、とても感激しました。



平成27年度 瑞宝中綬章 受章

特別インタビュー



研究者となったきっかけをお教えてください。

実は子供のころから勉強が大嫌いで中学の成績はクラスで最低でした。農業を経ぐつもりでしたが、高校3年生の時に88歳の祖母から「百姓の時代は終わった。これからは月給取りの時代になるので、大学に行きなさい。」と言われ、やっとの思いで東京電機大学に入学しました。大学に入ってからは田舎者ゆえに劣等感に悩む日々でしたが、大学3年生のときにゲーテの「ファウスト」に書かれている「天使達はいつも嘗ている。絶えず努力する人々を幸せの彼方に運ばなくてはならない。」という時に感銘を受け「努力していれば、いつかは必ず幸運が訪れる」という言葉を信じ、一生懸命に勉強に励むようになりました。その結果、大学の成績は急速に上がり、私一人だけ大学に助手として残していただきました。その後、講師、助教授を経て40歳で教授になりました。教授に就任した後は学生部長や工学部長などいろいろな役職に就きましたが、私は役職に没頭することなく、少しの時間を見つければ研究を行っていました。研究に熱中するようになった転機はやはりMIT(マサチューセッツ工科大学)に留学して生体磁気の研究を開始したことだと思います。

これまでにどのような研究を行ってきましたか。

大学での専攻は電子工学で、大学院時代にはカラーテレビの新方式を研究していましたが、思い通りの研究成果をあげることができず、研究テーマをパルス回路に変更して工学博士を取得しました。そして、ホッとしている時にM.I.Tから世界初の試みである「身体から発生する微弱な磁場を計測して病気の診断に役立てる研究」についてお説明があり、すぐM.I.Tに留学して、心臓やその他の臓器から発生する微弱な磁場を計測するシステムを開発し計測しました。特に肺の磁場計測は、当時、大きな成果を生みました。

肺の磁場研究についてお聞かせください。

今から45年前のアメリカではアスベストを扱う工場の多くの従業員が肺ガンになっており、アスベストが社会問題化しておりました。アスベストには微量な鉄分が含まれていますので、その鉄分を磁化し、磁場を測ることによって従業員の肺内に蓄積しているアスベストの量を測ることができました。アスベストはレントゲンに写らなかったので、この方法はとても画期的でした。

昭和56年頃、仙台市のスパイクタイヤの公害粉塵についても研究しました。スパイクタイヤが舗装道路の砂を削り発生する粉塵には7%くらいの鉄が混じっていますので、アスベストの時と同様の原理を用いて、住民の肺から発生する磁場を計測しました。その結果、スパイクタイヤを使用する会場と使用しない会場で住民の肺内の粉塵量が大きく異なることが分かりました。この研究結果がきっかけとなり、スパイクタイヤが全面廃止となりました。



ご専門の脳科学についてお聞かせください。

21世紀は脳科学の時代であり、脳の発育過程を科学的に解明することが、教育、医療、健康的な生活などに大きく貢献できると思っています。そこで、肺磁界の研究で研究費が集まるようになり、私が最もしたかった脳から発生する微弱な磁気を計測して脳機能解明や脳の病気の診断に役立てる研究を行うようになりました。

脳磁気計測の研究は日本では私が最初でしたので、脳神経外科学会など多くの学会で特別講演を依頼されました。そのようなことから、私の高度脳磁場計測装置を開発し、脳機能解明や診断法を確立する研究が平成2年に国のプロジェクト研究に選定され、60億円の研究費がつきました。

「磁気」に対する想いをお教えください。

磁気には身体の不調を治す不思議な効力があります。2000年以上も前からその効力が確認されていますが、時代によっては磁気の効力が否定されることもあり、歴史はこれを繰り返してきました。その原因の一つは磁気の効力が科学的に証明できなかったことにあります。だからこそ、当財団では歴史的悲願である「磁気の効力を科学的な証明する」ことが最も大切な使命だと考えております。

磁気の生体に対する作用・メカニズムを解明する研究は最近大変進んでおり、将来、磁気は様々な医療分野で活用される可能性を秘めています。



今までご苦労されたことは？

先にも述べたように大学に入学した当初は、大都市東京の生活で孤独感や劣等感などに悩まされ、大変苦しました。高知県の田舎から上京してきた私は人間の洪水の中で孤独になり、周りの人を見渡せばみんな立派で、自分に対する劣等感を抱くようになりました。自分は生きている価値がある人間だろうかと思ったほどです。だから、大学3年生から勉強にうちこみ、中国古典や小説などを沢山読みました。振り返ってみれば、このような時代があったからこそ、今の自分があるのだと思っております。



小谷先生の信念や好きなお言葉をお聞かせください。

信念はやはり「努力」することです。好きな言葉は「上善如水：上善は水の如し」という中国古典老子の言葉です。水は柔らかくしなやかでいかにも変化しますが、岩に穴をあける強さも兼ね備え、万物に恵みを与えます。また、自己主張せず、低い所へ自然に流れていきます。水のような生き方こそが理想であり、最高の人生のあり方であるという言葉です。水のように、どんな相手や状況にも柔軟性を持ち、争いごとをせず、自分を常に低いところに置く謙虚さが大切だと思います。

どうもありがとうございました。今後の更なるご活躍に期待しております。

Profile プロフィール

公益財団法人
磁気健康科学研究院興財団

理事長 小谷 誠

東京電機大学顧問・名誉教授
北里大学客員教授

【現在從事している役職等】

東京電機大学顧問・名誉教授
北里大学客員教授（医学部）
カシオ計算機（株）・社外取締役
(公) 磁気健康科学研究院興財団 理事長
(公) 日本電気技術者協会・理事・副会長・論文審査委員長
(公) 福田記念医療技術振興財団・理事
(公) ヒロセ国際美学財団・理事・被学生選考委員会副委員長
(公) ロックテ財团・評議員・被学生選考委員会副委員長
(公) 電子財團・被学生選考委員会委員長
(財) 看護医学研究財団・理事
(財) 神山財團・評議員
(公) ポーラ伝統文化振興財団・評議員

※(公)：公益財団法人または公益社団法人の意味
※(財)：一般財団法人の意味

昭和31年 高知県立中村高等学校卒業
昭和39年 東京電機大学大学院工学研究科修士課程修了
昭和44年 東京電機大学工学部電子工学科助教授
昭和48年 工事博士号（東京電機大学）
昭和50年 マサチューセッツ工科大学富島研究員
昭和52年 東京電機大学工学部教授
平成2年 「高生体磁場計測システムの研究開発」
国際プロジェクトに選定（60億円）
平成4年 第3回日本MRI学会大会長
平成6年 日本MRI学会副会長
平成7年 磁気健康科学研究院興財団 理事
平成7年 フィラナポート学会会長
平成8年 東京工業大学 塔工学振興会 理事
平成9年 日本生体磁気学会会長
平成10年 東京電機大学学長
平成10年 第11回生体磁気国際会議会長
平成10年 生体磁気国際会議アドバイザーコミティ委員長
平成13年 日本MRI学会各會会長
平成13年 大学評議会・学院校与横浜大学評議専門委員
平成14年 東京電機大学参事
平成19年 学校法人 東京電機大学理事
平成19年 文部科学省 科学技術・学術審議会学術分科会
研究環境基盤作業部会委員
平成20年 東京電機大学名誉教授
平成20年 北里大学客員教授
平成22年 磁気健康科学研究院興財団 理事長
平成25年 カシオ計算機株式会社社外取締役
平成28年 東京電機大学・顧問

磁気の不思議な力

磁気は人間の目には見えませんが、その不思議な力は約2000年もの昔から確認されています。現代社会の中で磁気はあまりにポピュラーなため、注目されにくい存在ですが、子供の頃に磁石遊びをした新鮮な感動を今に思い出します。ここでは磁気の不思議な力や現象をいくつかご紹介して、磁気に対する関心を少しでも深めていただければと思います。



磁化とは

(鉄はどうして磁石に引き寄せられるのか)

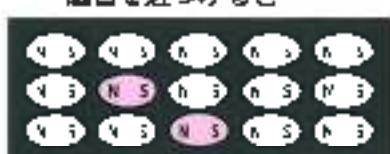
実は鉄を構成する小さな粒一つ一つが磁石になっています。しかし、そのままだとN極・S極がバラバラに並んでいるため、磁力は発生しません。その鉄に磁石を近づけると、鉄の中の小さな磁石のN極・S極が同一方向に整列して、磁力を持ち、磁石に引き寄せられます。結果、鉄は「磁化」されたということになります。

普通の鉄の状態



鉄の小さな磁石のN極・S極が、色々な方向を向いて並んでいるので、お互いを打ち消しあって磁力が発生しません。

磁石を近づけると・・・

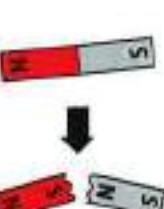


N S N S N S N S
N S N S N S N S
N S N S N S N S

N S

鉄の小さな磁石のN極・S極が整列して、同じ方向を向くため磁力が発生します。

また、磁石はN極とS極は分かれていますが、磁石を縦割りや横割りして、小さく分けていくと、そのたびに両端にN極・S極をもつ磁石ができます。これは、磁石を構成する小さな磁石の磁極が同一方向に整列するためです。



磁化水

磁化することは、なにも固体に限ったことではなく液体である水も磁化されます。研究上ではありますか、水は磁化されると水の分子集団が小さくなり、細胞への浸透性を高めるとも言われています。レタス栽培の実験では、磁化水を使用したレタスの生育が良いとの結果も報告されています。

<小さな水分子集団>



<レタス：植え付けから1ヶ月後>



オーロラ

磁気とかかわりのある不思議な現象が「オーロラ」です。太陽から飛んでくる電気を帯びた陽子や電子の小さな粒が地磁気につかまえられて磁力線に沿って北極や南極に降り注ぎます。紀元前4世紀ギリシャのアリストテレスはオーロラを「天の裂け目から吹き出す炎」と説明し、「日本書紀」では「赤氣(せつき)」と表現されています。中国の秦の時代には、「天空に墜る龍」と考えられており、とても神祕的な現象ですが、昔の人々にとって不吉な出来事の兆候としても恐れられていました。



「磁気治療及び福祉工学の将来的展望」

東京電機大学 工学部
教授 土肥 健純



design by Freepik

1.はじめに

磁気は、小さいときから南北を示すコンパス、お互いに引き合うS極とN極、互いに反発する同極、砂鉄を引き付ける性質などを有する身近な存在として知っています。みんながよく知るその磁気の高度利用としては、超電導の高速リニアモーターカー以外にも、生体に関係する技術として微弱磁気計測のSQUID、生体の断層画像撮影装置のMRIなどもあります。これらは磁気応用の生体計測という一面です。その他に皆さんもよく知っている磁気ネックレスなどによる血行促進やコリの解消がありますが、これらは静磁場による身近な健康器具といえます。

生体への磁気刺激方法には、静磁場による方法、交流磁場による方法、および高電流を用いるパルス磁場による方法の3種類があります。私の研究室では福祉機器を目的とした磁気刺激の研究をしているので、生体にとって安全な交流磁場による刺激を用いています。

本稿では、将来の夢でもある磁気の福祉機器への応用として、磁気刺激による支援と磁気を用いた生体組織の保存について紹介します。

2. 搭載機器としての磁気応用

元来、磁気刺激は非侵襲でかつ痛みを伴わないため、障害者や高齢者に対する支援機器への応用として大いに期待されているものの、交流磁気刺激により発生する生体内渦電流では、神経や筋肉を刺激することはできません。しかし、私たちのこれまでの研究により、体内的骨格を利用してことで、渦電流に電位差を発生させて刺激することにラットによる実験での可能性を見出しました。そこで、今回その第一歩である、①高齢者の排便促進、②聴覚支援、および③寝たきり高齢者の拘縮予防について、私の夢を紹介します。

2.1 高齢者の排便促進

便秘は腸管の蠕動運動が行われないため生じますが、腸管は不随意筋であるため、外部からの刺激が必要となります。高齢者では腹部圧迫は無理があるため、刺激方法として対象者が洋式トイレに座った状態において、腹部から大腸に対して蠕動運動を促進するための磁気刺激を磁気閃光と同様な交流磁気刺激により行うことを考えています。磁気の性格上収束の収束は出来ませんが、骨格構造に対する刺激コイルの配置を考えることで、効果的に腸管や仙骨部分の神経を刺激する経路を探る予定です。これが成功すれば、毎日決まった時間にトイレで排便する習慣をつけることが可能となります。習慣が付けば特に刺激の必要はありませんが、再び便秘になった際には再度使用することで高齢者の便秘を予防することができます。これは高齢者に限らず便秘で悩む多くの人にどうぞ福音となると思います。一方、足の電気刺激で感じない程度の刺激、当然筋肉も運動しない程度の刺激でも骨格筋によい効果があるとの報告もあります。そのため、実際に腸管に蠕動運動が発生しなくとも、刺激を続けることで次第に効果が現れることを期待しています。

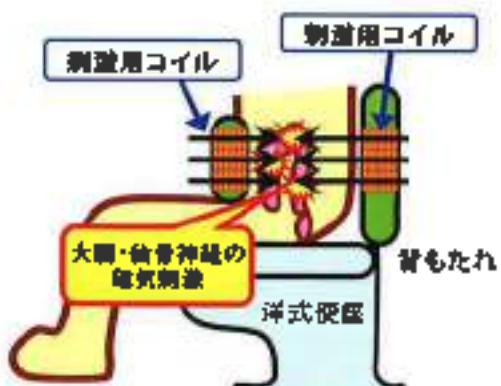


図1 排便促進

しかし、現時点では刺激方法は確立していませんが大腸を直接刺激できる磁気刺激方法が開発されれば、腹部全体から腸管を刺激する方式、および上行結腸・横行結腸・下行結腸の順に磁気刺激して便を送り出すことを期待しています。

2.2 聴覚支援

本来、先天性聴覚障害者にとって、耳からのフィードバックがないことは发声発語において、自己学習が行えないため致命傷です。もし、ある程度の音質を持って聴覚障害者にフィードバックできれば、自然の发声発語が期待できます。そして多くの聴覚障害者が、その恩恵を享受できるようになるものだと思います。しかし、聴覚と磁気の関係では、むしろ磁気により発生する雜音の影響を除く工夫がされているのが現状です。私たちは、その現象を利用しますが、その際の刺激方法としては、安全性の問題と目的内容から磁気閃光と同様な交流磁気刺激に限定しています。その実現のためにまず蝸牛内の聴覚神経を刺激する刺激コイルを開発する必要があります。試作刺激コイルによる実験を通して、音声伝達の可能性があるように改良を重ねてゆきます。刺激コイルの配置に関しては、両耳の2種方式、および両耳と頭頂部の3種方式について検討しています。現時点では渦電流で直接脳の聴覚領域を刺激することは予定していません。



図2 聴覚支援

2.3 寝たきり高齢者の拘縮予防

高齢者は寝たきりになると、手足の運動機能が衰えるばかりでなく、手足の屈曲筋が収縮して手足が曲がった状態になってしまいます。

そのため、被介護者の衣服の着替え、おむつの交換、あるいは移乗などにおいて、介護者と被介護者の双方にとって大変な苦労を要します。拘縮予防として従来は、介護者が非介護者の手足を直接運動させたり、電気刺激で運動させたりしますが、その際被介護者は耐えられない痛みを感じます。これに対して、私たちはこの拘縮する手足の随意筋を磁気刺激により、運動させることで拘縮予防を目指しています。この場合重要な点は、磁気刺激では被介護者は痛みを感じないことです。そのためには、交流磁場でどの位置で運動神経を刺激することが可能かを調べることです。また、刺激するのに拘束した手足に巻き付ける刺激用コイルを開発して、そのコイルでベッドに寝ている間刺激してはと考えています。一方、高齢者の排便促進の所でも述べたように、被介護者に感じない程度の刺激でもそれなりの効果があるとの報告もあり、その効果も期待できます。そのため、実際神筋に運動が発生しなくとも、刺激を続けることで次第に効果が現れることが期待されます。しかし、高齢者の拘縮予防には磁気刺激が適していますが、未だ試みられた報告はありません。現時点では確実に磁気刺激ができるのは、脳の運動野を直接パルス磁場で刺激する方法しかありません。私としては、パルス磁場を持ちるには高電流を用いるため、安全性の問題から避けたいと思っています。

3. 過冷却凍結保存

磁気の医療応用として、生体組織の過冷却凍結保存があります。特に、細胞や小さな臓器では、過冷却凍結保存が細胞膜を破壊しないなど有用性が高いものの、いまだ詳細に研究されていません。過冷却状態下で過冷却が解消されると、低温で全体がほぼ一瞬で凍結されますが、細胞内液も通常の凍結と異なり一様に凍結するため、細胞内構造が破壊されないという特徴があります。着色した水を通常凍結すると色素が分離して中央に集まりますが、過冷却凍結では色素は分離せずに一様に分布したまま凍る事からも分かります。また、過冷却による凍結では、水の凍結方式の違いが通常の氷よりも体積膨張が少ないことも観察されています。さらに体積膨張で細胞膜が破壊される点に関しては、凍結前に少し高濃度の浸透圧の溶液で貯蔵することでも防げます。この過冷却は交流磁場下により冷却速度が低下し、かつその再現性が認められています。私たちの研究室では、スターリングクーラーという小型冷却装置に交流磁場が付加できる過冷却凍結保存システムを試作して、生体組織保存に適した条件の検討を行っています。

3.1 小児卵巣摘出保存支援システム

小児がん患者、特に女児の化学療法や放射線療法において、患児の妊娠機能の保持には治療前に成熟前の卵巣を摘出して凍結保存し、治療終了後に再移植を行う必要があります。しかし現在の冷凍保存による卵巣保存では、卵細胞の破壊率が極めて高く、かつ妊娠率も非常に低いのが実情です。私たちの研究室では、生理的食塩水の過冷却に関して、0.3mT、20Hzの交流磁場下でよい成績が得られています。現在、各種保存液に対して交流磁場におけるそれらの磁場強度・周波数などが適切かを、交流磁場の効果に焦点を当て保存液ごとに細胞や赤血球などによる実験を進める予定です。その駆動用の、前処理液や冷却保存液などに関しては、組成・浸透圧などについても同様に検討し、最も良い条件で動物の卵巣に関して過冷却凍結保存および再移植の実験を行う予定です。ここで得られた知見は、現在保存が困難とされている血小板などの凍結保存にも、多大な寄与を与えるものと思います。過冷却凍結保存支援システムに関して、磁場の強度および周波数の検討以外に、臓器の保存液の条件も重要で、従来用いられている保存液のコリンズ液、UW液、Kyoto液に加えて、これまで使用不可とされたような保存液についてもする必要があります。

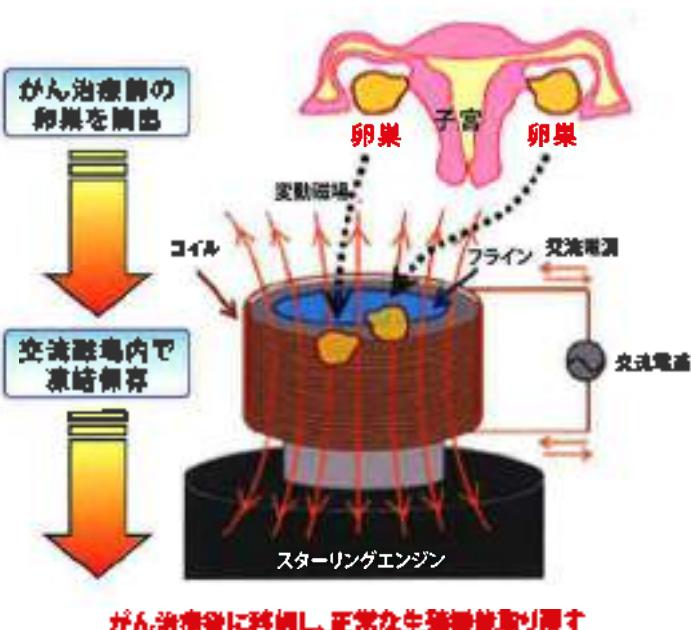


図3 小児卵巣摘出過冷却凍結保存システム

4. おわりに

福祉分野に適した磁気刺激は、磁気閃光に用いられる交流磁気刺激で、適切な部位に安全に漏電流を誘導することです。しかし、これまでに交流磁気刺激が福善目的に用いられた研究報告はありません。そこで、本方式による刺激が、最も効果が期待される分野として排便促進を選び、その応用可能性について検討することで、福祉分野への磁気刺激応用の扉を開くことを目的としています。また、生体組織の保存も利用範囲は広いですが、まだ精子等の凍結保存にとどまっています。もし、保存が困難な細胞や臓器の凍結保存が可能になれば、その応用範囲は極めて広いといえます。その代表的な対象として卵巣の凍結保存を選んで検討していますが、これがうまく行けば他の多くの臓器の保存・移植にも広がって行くものと期待しています。このように磁気の応用範囲は広く、まだ未開拓の分野が多く残されています。その意味で「たかが磁気、されど磁気」ではないでしょうか。

東京電機大学 工学部

教授

土肥 健純



【学歴】

1972年3月 東京大学工学部精密機械工学科卒業

1977年3月 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 工学博士

【職歴】

1977年4月～9月 東京大学工学部精密機械工学科 助手	客員教授等(除:非常勤講師)
1979年4月 東京電機大学工学部 講師	1994年10月 清華大学精密機械及び機械学系(中国北京)
1980年10月 東京電機大学工学部 助教授	～1997年9月 客員教授
1981年4月 東京大学工学部 助教授	1999年10月 同上
1983年7月 東京大学工学部 教授	～2002年9月
1995年4月 改組により東京大学大学院 教授	2002年4月 大阪大学大学院医学系研究科 客員教授
～2012年3月	～2010年3月
2012年3月 東京大学定年退職	
2012年4月 東京電機大学工学部機械工学科、先端機械センター 教授 現在に至る	

【受賞】

1994年 第35回科学技術振興事業 科学技術省長官賞

2000年 日経BP技術賞 医療・バイオ部門

2002年 日本医学会賞 ロボティクス・メカトロニクス部門

2003年 日本エム・イー学会生体医工学シンポジウム

ペストリサーチアワード2003

2005年 日本生体医工学会生体医工学シンポジウム
ペストリサーチアワード2005

2009年3月 総務工学会 功勞賞

2009年9月 Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention(MICCAI) Fellow 他5件

【専門】

医療工学:コンピュータ外科学(手術支援ロボット・メカトロニクス人間工学)
メカトロニクスおよび手術支援用3次元画像表示、人工臍帯、臍帯保存

福祉工学:福祉ロボット・メカトロニクス

【所属学会】

精密工学会(元理事H.8.2～H.12.1)

日本生体医工学会(旧日本エム・イー学会)

理事:H23.5まで5期10年、(会長:H18.4～H20.4)、

現在名誉会員

ライフサポート学会、理事、(会長:H17.5～H19.5)

看護理工学会:副理事長(H25.10～現在)

日本臍帯保存生物医学会

理事(副理事長:H.20.9～H.24.9)

日本生活支援工学会

監事(理事H.23.5～27.6、会長H25.6～H27.5)

日本コンピュータ外科学会:理事(理事長:H16.4～H18.3)

アジアコンピュータ外科学会:理事(会長、設立時H26.7)

国際コンピュータ外科学会

:理事、設立時～2005.6、(会長:2006.6～2008.6)

Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention(MICCAI):理事(設立時～2005.9)

2002年国際学会MICCAI2002を大会長として東京大学で主催

International Union for Physical and Engineering Sciences in Medicine(IUPESM):理事(2000.8～2003.8)

その他の学会:日本ロボット学会、

【委員会】

独立行政法人 施エキカルー・産業技術総合開発機構 福祉医療評議会 委員長

国立研究開発法人 日本医療研究開発機構(AMED):プログラム・オフィサー

(株)ジャパンジャーナル:編集委員、日本医工もぐりコモンズ 常任理事

「動物の磁気感受と化学反応の磁場効果」



埼玉大学大学院 理工学研究科
准教授 前田公憲

1. 2つの研究の流れが交わるとき

当初そうなるとわかっていないくとも、意外なことから2つの研究の流れが交わりを見せることがある。特に2つが全く異分野である場合には、その意外さはなおさらであるが、こういった交わりと間を埋めようとする取り組みが、新しい学問の展開に寄与する可能性もある。しかし、よく考えてみればこれから話す動物の磁気感受の問題と筆者の主な研究対象としてきたフラビン類のラジカル対の研究が関連したのは、偶然のような必然かもしれない。このレビューでは動物の磁気感受に関する動物研究の流れと、筆者らの化学反応の磁場効果研究の流れがどのように結びついたのかということについて述べてみたい。そして、この様な異分野交流の結果、波状効果としてさらに異なる分野に影響を与えていく。マクロな存在である動物の研究、ミクロな分子の磁気感受の研究が交流した結果、それらの中に共通の理論を見出そうとする、理論物理、特に量子情報論の研究が行われたり、量子バイオロジーと呼ばれる、新しい研究領域が生まれたりしている。

2. 動物の磁気感受

近年では、磁場を認識できるとされている動植物は多種にわたっている。原始的なバクテリアなどの単細胞生物から、渡り鳥、そして哺乳類に至るまで多くの磁場効果の研究がなされている。さらに、近年では遺伝子操作が可能であることから、ショウジョウバエなどでは、いくつかのターゲットタンパク質をつぶした変異体とその磁気感受との関連が実験されている。このように動物の磁気感受はかなり一般化してきており、その存在の有無を議論する状況では無いと筆者は考える。そして、既に多様な磁気感受のメカニズムが議論されているが、渡り鳥に限って言えば以下の2種が大きな仮説として存在する。

- 1) マグネタイトと呼ばれる磁化鉄が、地磁気の方向に配向する。所謂、方位磁針と同じメカニズムである。これらの磁化鉄が神経系と結びついていると考たられているが、その拘束が完全に証明されたわけではない。しかしこれらの原始的な生物において、マグネタイト說を支持する結果がある。
- 2) 光化学コンパスと呼ばれるメカニズム。ヨーロッパコマドリなどの研究から提唱された、ラジカル対の光化学反応が地磁気レベルの磁場の影響を受け、その方向依存性から地磁気の向きを重力からの傾きも含めて、「覗る」事ができるとするもの。⁵

この2つ以外にも、地磁気の中を移動する事による、誘導電流を利用しているなど様々な仮説が存在するが、鳥に限れば比較的信頼できる実験などから考えて、(ほぼ1)と2)が有力であると考えてよい。

1) は主に生体内の探索によるマグネタイトの発見によって裏付けられている。例えば、ハトや渡り鳥などの上嘴において、マグネタイトが発見されている。しかし、近年これらが磁気コンパスの役割ではなく、マクロファージであるという報告⁶やヨーロッパコマドリにおいては、くちばしと脳とを結ぶ神経の切断が磁気コンパスに影響を与えたなかったといった報告⁷がなされている。しかし、他の動物においては、マグネタイト說を支持するいくつかの状況(斑鳩やマグネタイトと2)の光化学コンパスとを状況により使い分けているとするハイブリッド説⁸などやや状況は混とんとしている。

ラジカル対説は、もともとシュルテンにより渡り鳥のコンパスモデルとして提案された。⁹

しかし、当時はまだ状況証拠がそろっておらず、具体的なメカニズムが提案されていなかったので、さほど注目されなかつた。しかしリッツらによつて、視覚への磁場効果によるものとする画期的なコンパスモデルの提案がなされた。⁵ その内容両方を要約すると以下の様になる。

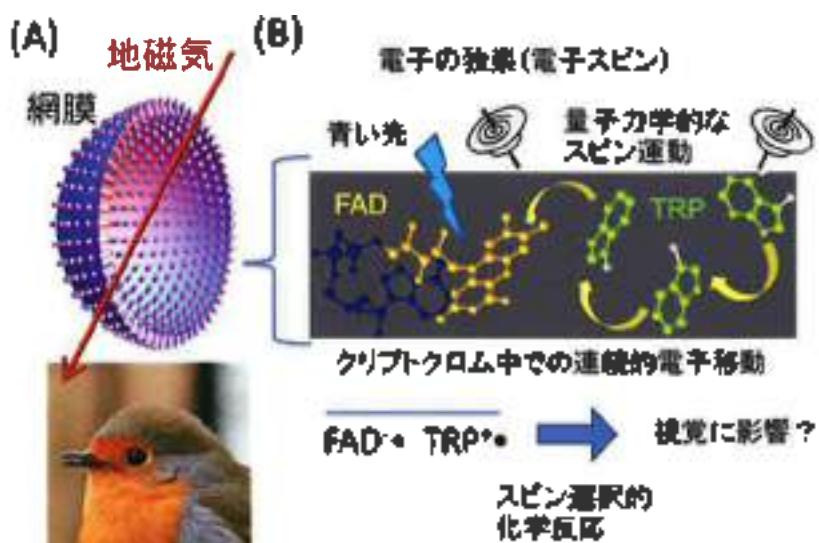


図1. リッツらにより提唱された、ヨーロッパコマドリのコンパスモデル。(A)眼の網膜に存在する分子と地磁気との配向により光化学反応性が異なる。(B)クリプトクロムの中のフーラビンと連続的に並んだトリプトファン残基。光励起によりラジカル対が生成する。

- 1) 磁気を感じるラジカル対は鳥の網膜に存在している。(図1A)
- 2) そのラジカル対は(たぶん)網膜上において規則正しく並んでいるが、位置は球状なので眼の中で位置によって、その向きが異なる。
- 3) このラジカル対は光化学反応により作られ、そのラジカル対を中心とする化学反応が、分子の向きと外的磁場(地磁気)との角度によって異方向に変化する。
- 4) もし、その反応が鳥の視覚に影響を与えるならば、網膜上の位置によって、視覚の感度が異なる事になる。
- 5) これにより、鳥は眼にかかる地磁気を目で見える画像として認識する。
- 6) この光によりラジカル対を生成する分子として、青色受容体フーラビン色素としてクリプトクロムがあげられる。(図1B)
- 7) ラジカル対はそれぞれの電子がスピンを陣ち、その相対配向がその後の反応性を決定する。(図1B) スピンの運動は、量子力学的に起こり、地磁気レベルの小さな磁場により容易に変化し、その方向に依存する。

この説はウィチコらの、ヨーロッパコマドリに関する以下の発見から支持されている。

- 8) コンパスが磁力線の重力に対する傾き傾きを見る傾きコンパスであり、1) 地磁気の垂直成分の反転がコマドリの反転を生むこと。
- 9) コマドリが認識する磁場範囲が地磁気付近の範囲のみであり、遠すぎる範囲ではコンパスが機能しないこと。¹²
- 10) 青から緑色の光照射下でのみ、磁場の向きを認識すること。¹³ さらに2色の光などでは複雑な応答をする。つまり光化学反応の可能性を支持する。
- 11) 敷入ガヘルツのラジオ波電磁波(振動磁場)によりコマドリの方向認識が失われる事。¹⁴ これはマグネタイズでは起こりにくい現象であり、電子スピン共鳴ではないかと考えられる。

さらに、モーリツンらは、ウィチコらに批判的で結果の一部を否定しながらも、鳥の方向認識と眼でのクリプトクロムの発現、同時に脳の視覚に関係する場所との関係を突き止め、電磁波の効果を一部再現などして、結果としてはラジカル対説を支持する事となっている。

これらの鳥のコンパスに関する研究に触発され、近年では鳥以外の動物植物における磁気感受と地磁気を含む磁場との関連、そして候補分子としてのクリプトクロムとの関連が多数観測された。その中でも特にショウジョウバエの磁場認識はリバートーらにより磁気感受の報告がなされ、光の波長との関連やクリプトクロム受容体を用いた実験から、クリプトクロムと動物の磁気感受との関連が強く結びつけられた。また、吉井らは同じショウジョウバエにおいて、クリプトクロムが重要な役割を果たすとされている概日リズムにおいて、その周期に磁場の影響があり、それとクリプトクロムとの関連がある事を示した。

このように、元来動物実験等で議論されてきた動物のコンパスの問題を、シュルテンやリッツといった分子科学者らによる大胆な仮説が、筆者も含まれる分子物理化学者や量子力学等の理論物理学までをも巻き込んだ議論を展開させる事となったのである。そしてほぼ並行する形で、分子科学的な計測が求められてきたといえる。

3. ラジカル対機構と磁場効果の歴史と展開～スピノ化学～

上で述べたラジカル対の問題が、多くの化学現象において観測され、それを理論的に探究してきた歴史は長い。ラジカル対機構という概念は、動物の磁気感受に対して生まれてきたものではなく、古く

から化学反応に伴う電子スピン、核スピン分極現象の観測や、化学反応の磁場効果、振動磁場による磁気共鳴効果、磁気同位体効果のメカニズムとして、多くの研究がなされてきた。その黎明期の化学実験とその理論については参考文献¹を参照していただきたいが、古くは1970年代からラジカル対機構は生まれている。筆者が研究の世界に入ったのは、1989年以降だがその当時は化学反応の磁場効果という現象そのものへの純粋な興味に始まり、磁場効果を用いることによる、ラジカル対のダイナミクス、そして理論の改良やその実験的な裏付けがなされてきた。当時このような化学反応に対する電子スピンの分極や磁場効果の観測の研究は日本でも盛んにおこなわれ、「動的スピン化学」として活発に研究された。しかし2000年ごろを境に、ラジカル対機構による基礎的な磁場効果の研究は、一見ほぼ饱和したかのように見えた。しかし、量子力学的なスピン効果の重要性は認識されてはいたが、極低磁場にみられる磁場効果のような、純粹にコヒーレントなスピン運動の効果については、計算の複雑さやスピン系の位相緩和（デコヒーレンス）が速いことから、あまり議論されてこず、残されてきた。また、近年ラジカル対の問題は、固体系では電子一ホール対と置き換えられ、磁場効果も含めた磁気的な効果は、特に有機分子系のスピントロニクスの一つの方法論として再認識されつつあり、さらなる展開が進んでいる。

ラジカル対による鳥のコンパスを唱えたシェルテンは、それより前にウェラー、シュタークらと、電子移動反応における磁場効果を発見し理論的に説明している。まさに、ラジカル対のスピン化学のバイオニアである。そして、上でも述べたが、ラジカル対による鳥のコンパス示唆する論文を発表したが、一つの仮説として流された。しかしその時は鳥の磁気感受においての、状況証拠がさほどそろってはおらず、そのため、鳥の磁気感受をターゲットとしたスピン化学的研究はほとんど行われなかつた。筆者自身もリッツの2000年の論文を見るまでは、全く気にかけてもいなかつた。当時、筆者はクリプトクロム類の補酵素であるフラビンの持つ、疎水性、親水性への興味や生体分子との親和性から、その磁場効果を測定してはいた。しかしリッツのクリプトクロム説に対しても、正直まだ本気でそのモデルを考えることはしなかつた。その理由の一つは、筆者がおもに拡散運動するラジカル対を対象とした研究をしており、一定距離に固定されたラジカル対の研究は（興味は持っていたが、諸事情から）ほとんどしていなかつた。そのため、電子スピンの運動が、分子拡散により揺動されたスピン間相互作用により、そのコヒーレントな様相を失った結果、地磁気レベルの磁場効果はほとんど失われていたのである。筆者は正直低磁場効果の観測には興味を持っていたが、それが本当に鳥の磁気感受と関連するのかどうかは未知数だと考えていた。

4. 鳥のコンパスの人工分子モデルとクリプトクロム

2006年に筆者は筑波大学からオックスフォード大学に渡り、カロテノイド、ポルフィリン、フラー・レン三元分子（CPF Triad）の磁場効果の観測を始めた。その反応スキームを図2に示す。分子は光を吸収し励起状態から一重項と呼ばれる状態のラジカル対を生成する。ラジカル対では、それぞれのラジカル（CのカチオンラジカルとPのアニオンラジカル）上での核スピンとの相互作用（超微細結合）が異なることにより、三重項と呼ばれる状態と混合する。この過程は、ほぼ量子力学に従う。このラジカル対はスピン間の距離が固定されており拡散等の運動の影響をあまり受けないので、デコヒーレンスが起こりにくく、スピン状態の混合過程が、極めて小さな磁場により変化する事が予想でき、地磁気レベルの磁場効果が期待できる。その後の反応は図にある様に、スピンの状態選択性的に起こり、その結果反応速度が磁場により変化することになる。この三元系は鳥のコンパスのモデルと考えることができ、実際にクリプトクロムでの光化学反応はこれと非常によく似ている。

当初筆者は、地磁気を感じる分子を見つけるのは容易ではないと思っていたが、幸運にもこの最初の分子が非常に強い低磁場効果と呼ばれるスピン系のコヒーレンスによる磁場効果を示すことがすぐにわかった。あとは地磁気をシールドするミューメタルケースにサンプルを入れ、地磁気レベルの磁場（40-50 μT）の磁場による破壊効果を測定した。そしてこれらの分子を液晶に入れたり、偏光を用いて光学的に分子を選択観測したりすることにより、素が磁場に対して異方的な応答することを突き止め明らかにした。²⁰ これにより、鳥のコンパスモデルを我々に持つことになった。

この論文について、筆者は次のように考えている。マグネタイト説などと見れば方位磁針という物はすでに存在しており、その性能も明らかである。よって、体内で方位磁針のようなものが見つかれば、それを鳥が利用している可能性は高くなるであろう。しかし、光化学コンパスに関しては、それまで我々は地磁気を感じる分子システムの存在すら明らかではなかったのである。その意味でこの研究でやっとマグネタイト説と並んだ一歩であったと考える。

しかし、このような三元分子そのものを鳥が持っているわけではない。鳥の体内（網膜）で、磁気を感じるときに有効に発現するタンパク質、つまり本丸のターゲット分子はクリプトクロムなのである。

筆者らは三元分子の研究と並行して、クリプトクロム類縁体であるフォトリニアーゼにおける光化学反応の磁場効果の研究を行った。生体分子系は二元分子とは異なり、極めてデリケートであり、その光化学反応の測定、そしてその磁場効果測定は困難を極めた。

しかし最終的には、リッツらの予想とさほど食い違わない、ラジカル対の生成、そしてその磁場効果について明らかにすることことができた。しかし、三元系のような地磁気レベルの磁気感受を観測することはできなかった。

その後筆者らは、より高感度に光化学反応の磁場効果を観測する方法の開発に従事した。とくに光キャビティを用いることにより、過渡ラジカル種の微小な生成を観測でき、さらにその磁場効果を観測していく。それにより、これまで限られたクリプトクロム類のみ磁場効果の観測が行われてきたのに対し、より薄く少量のサンプルでの測定が可能となった。特に動物の磁気感受の中で一つの重要な存在である、ショウジョウバエのクリプトクロムや、アフリカツノガニエルのクリプトクロム両方において、すでに磁場効果の測定に成功している。これらの測定から、磁気感受に必要な条件を実験結果と量子力学的な理論計算との両方から検討している。

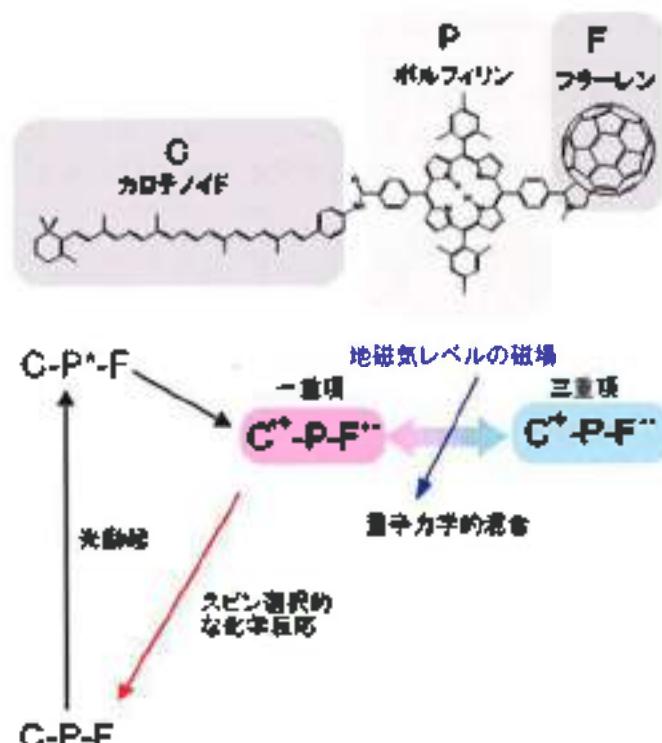


図2. 動物の光化学反応による磁気感受のモデルとなるCPF三元分子の構造と化学反応スキーム。

5. ラジカル対機構の光化学コンパスと量子力学～なぜ物理学的な興味をもたれているのか？

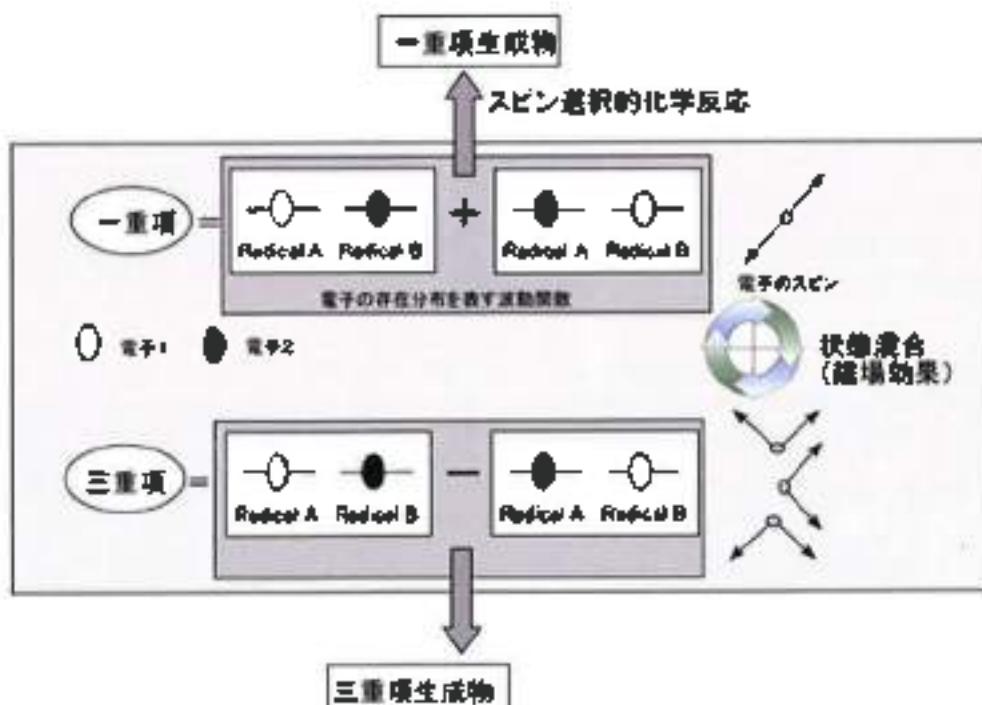


図3. ラジカル対の量子力学的波動関数の模式図。左側に空間部分(電子の存在分布)の波動関数、右側にスピン部分をベクトルを用いて示す。空間部分とスピン部分は完全に独立ではなく電子の交換に対する対称性の違いにより異なっている。それがスピン選択性的化学反応の根柢である。

これまで述べたように、主に動物学者により動物の磁気感受が研究され、一方で物理や分子科学者によりラジカル対のスピン運動に基づく磁場効果等の研究がそれぞれなされてきた。それを構成する提案を最初に行ったのはシュルテンであり、その後リッツらによってより具体的にされた。そして、その中で筆者らはモデル分子や候補となるタンパク質において磁場効果の測定に成功し、この2つの流れがより強固に連携することになった。同時にこのことは、これらの生物、物理化学現象をより広い研究者に知らせることになり、結果としてラジカル対機構が物理学者らによって再認識されることになった。それにより、ラジカル対系の磁気感受に関する多くの理論物理学的な考察が行われたが、その中には、従来スピニ化学で議論された内容を、言葉を変えて焼き直した、さほど重要とは思われないものも存在するが、見るべきものも存在する。このように、現在特に「量子バイオロジー」や「量子情報論」と呼ばれる研究の重要なターゲットとしても、動物の磁気感受の問題は注目されている¹⁻³。

物理学的に注目される理由を考えるために、もう少しラジカル対機構の振舞を考えてみよう。ラジカル対とは、光化学反応など初期に生成する、比較的近距離に生成する2つのラジカルである。図3に示すように、このラジカル対における2つの電子それぞれは、その自転（これは古典的な記述だが）による角運動量に基づき小さな磁石としての性質を持つ。この言い方は、物理学的には本末転倒である。なぜなら、世の中のほとんどのマクロな永久磁石はこのスピンを並べることによって作られるからである。

分子が反応するミクロな世界では、この2つの電子の持つ磁石の相対配向が非常に重要な意味を持つ。2つの磁石が打ち消しあい、全体としての磁石とならない状態を一重項と呼び、一方で強め合い全体として磁石となる状態を三重項と呼ぶ。量子力学的な考察からシングレット状態はその名のとおり1つであり、トリプレット状態は3つである。さて、このように書くと、この2種類の状態は電子の持つ磁石としての性質のみが異なるかのようであるが、量子力学のパウリの排他原理から、2つの電子がそれぞれ入っている電子の軌道へそれぞれ電子が入っている状態の重ね合わせの仕方がこの2種類の状態と異なる。図3に示すように便宜的に2つの電子に番号を付けると、1がラジカルAに入り2がBに入った状態と、その反対の状態との和と差とが取れる。2つのラジカルが離れているときは、この和（一重項）と差（三重項）の状態とでは違いはほとんどないが、2つのラジカルが近づいて結合を作るととき、この波動関数の異なりが反応性を決定づける因子となる。これがスピニ選択性の根源である。

2つのラジカルが離れているときは、一重項と三重項とのエネルギー差はほとんどなく、状態間の活性化エネルギー・バリアも存在しない。よってエネルギー的な問題は殆どなく、極めて小さなエネルギー、すなわちスピニに対する磁気的な相互作用による量子力学的な運動の変化が反応に響く。このときスピニを変化させるのに必要な磁場は、それと競争する超微細相互作用（電子スピニと核スピニとの相互作用）と同等かそれ以下でも、臨時に小さくなければ効果的に作用し、ラジカル対における化学反応の磁場効果の根源とされる。実際に図3で示した三元分子の実験でその事が確認されることになる。

この様にラジカル対の化学反応は、根源的にはかなり純粋な物理学現象であり、現代でも完全に解き明かされていない問題が含まれている。そのため動物の磁気感受の問題に触発され、以下のような物理学的な議論が行われている。

- 1) この一重項、二重項のスピニダイナミクスが、純粋な量子力学的かつコンピュートな量子現象であり、それが生体の機能と関連しているならば、生物が積極的に量子力学的な動力学を利用している例となること。
- 2) 一重項、三重項は2つのスピニがもつれ合い状態にある、EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) 対であり、その存在は古典的には非常に理解しがたい量子もつれ（エンタングルメント）とよばれている。この様に、量子もつれが光により簡単に生成し、その生成は多くの光化学反応系でニビキタスに作られていることになる。量子もつれは量子コンピュータ等の量子情報論において、もっとも重要な存在であり、具体的な量子システム実現に向けて利用可能かもしれないが、量子もつれが根柢的に地磁気感受に効果的に作用しているのかどうかは明らかではない。
- 3) ここ数年の間、上で述べたスピニ選択性の化学反応をどのように理論的に記述するのかをめぐっての議論が行われた。もともと、ラジカル対の減衰は単純に波動関数の係数の減衰で記述され、量子コヒーレンスは保存されるとして定式化が行われてきた²³。ところが2008年にコミニスは、量子ゼノ効果を考慮に入れた新しいスピニ選択性の化学反応モデルを発表し²⁴。さらに、これに反論する形でジョーンズらは新しいオペレーター（モデルを記述する式）を発表した²⁵。新しいモデルはラジカル対の一重項、三重項の選択性が、システムによる量子制御を含むものとして考えられた。しかし筆者らはこれらを、理論実験の由から否定した²⁶。

このように興味深い理論的な議論が高まり続いているが、今のところスピニ化学の理論的な成果を覆すような革命的な発展は見られておらず、スピニ化学の重要性と元来のポテンシャルの高さがむしろ再認識させられている。

しかし、この様な異なる視点からの研究者の参入により、用語や理論のすり合わせが行われ、ラジカル対に対する理学的描像が深まっている事は、今後に向けて重要であり、動物の磁気感受の問題のみならず、多彩なラジカル対（電子一ホール）系の実験的な解析や量子論的なスピン運動を利用したスピンドバイスやスピントロニクス等にも展開されることが期待できる。

参考文献

- "Living in a Quantum World" by Vlado Vedral: Scientific American Magazine, June 2011翻訳 日基サイエンス 10月号 2011年ショレディンガーハの島 生命の中の量子世界)
- "The dawn of the quantum biology" by Philip Ball: Nature 474, 272-274 (2011).
- N. Lambert, Yu-N. Chen, Yu-C. Cheng, C-M. Li, G. Y. Chen, F. Nori, Nature Physics, 9, 16-19 (2013).
- J. L. Kirschvink, M. M. Walker, C. E. Diessel, *Curr Opin Neurobiol.* 11(4), 462-467.
- T. Alts, S. Adem, and K. Schulen, *Biophysical Journal* 78 (2), 709-718 (2000).
- C. Walcott, J. L. Gould, J. L. Kirschvink, *Science* 205(4410):1027-9 (1979).
- C. D. Trelber, M. C. Seltzer, J. Riegler, N. Edelman, C. Sugar, M. Breuss, P. Eichler, H. Cadiz, M. Saunders, M. Lyngsøe, J. Shaw and D. A. Neely, *Nature* 463, 367-370 (2010).
- M. Zapka, D. Heyers, C. M. Helm, S. Engels, N. L. Schneider, J. Hans, S. Weiler, D. Dreyer, D. Kochlunov, J. M. Wild, F. Mouritsen, *Nature*, 461, 1274-1277 (2009).
- W. Wilschko, U. Munro, H. Ford, R. Wilschko, *Proc. R. Soc. B* 373, 2815-2820 (2006).
- K. Schulen, C. E. Svartberg, and A. Weller, *Z Phys Chem Neue Folg* 111 (1), 1-6 (1978).
- W. Wilschko and R. Wilschko, *Science* 116 (1990), 62-64 (1992).
- W. Wilschko, K. Stappat, P. Thalau, R. Wilschko, *Naturwissenschaften*, 93, 303-304 (2006).
- W. Wilschko, U. Munro, H. Ford, and R. Wilschko, *Nature* 364 (6437), 525-527 (1993).
- T. Ritz, P. Thalau, J. R. Phillips, R. Wilschko, and W. Wilschko, *Nature* 429 (6986), 177-180 (2004); P. Thalau, T. Ritz, K. Stappat, R. Wilschko, and W. Wilschko, *Naturwissenschaften* 92 (2), 86-90 (2005); T. Ritz, R. Wilschko, P. J. Hore, C. T. Rodgers, K. Stappat, P. Thalau, C. R. Timmel, and W. Wilschko, *Biophysical Journal* 96 (8), 3451-3457 (2009).
- S. Engels, N. L. Schneider, H. Lefeldt, C. M. Helm, M. Zapka, A. Mischak, D. Elburs, A. Kastel, P. J. Hore, and H. Mouritsen, *Nature* 509, 363-366 (2014).
- R. J. Gagor, A. Crossman, S. Waddell, and S. M. Reppert, *Nature* 454 (7207), 1014-U1061 (2008); R. J. Gagor, L. B. Foley, A. Crossman, and S. M. Reppert, *Nature* 463 (7282), 304-U114 (2010).
- T. Yoshii, M. Ahmed, and C. Helfrich-Porcher, *Plos Biol* 7 (10), 813-819 (2009).
- U.E. Steinert, T. Ueda, *Chem. Rev.* 89, 51-147 (1989).
- 「7-既性」伊藤公一編 学会出版センター(1996); G. Nagakura, H. Hayashi, T. Azumi, *Dynamic Spin Chemistry: Magnetic Control and Spin Dynamics of Chemical Reactions*, Kondendo & Wiley 1999.
- K. Maeda, K. B. Henbest, F. Cincolesa, I. Kuprov, C. T. Rodgers, P. A. Liddell, D. Gust, C. R. Timmel, and P. J. Hore, *Nature*, 450 (2008) 387-390.
- K. Maeda, A. J. Robinson, K. B. Henbest, H. J. Hogben, T. Bishop, M. Ahmed, B. Schleicher, S. Weber, C. R. Timmel, and P. J. Hore, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 109 (12), 4774-4779 (2012).
- K. Maeda, S. R. T. Neil, K. B. Henbest, S. Weber, B. Schleicher, P. J. Hore, S. R. Mackenzie and C. R. Timmel, *J. Amer. Chem. Soc.* 133 (44), 17807-17815 (2011); Simon R. T. Neil, Jing Li, Dean M. W. Sheppard, Jonathan Storey, Kimmon Maeda, Kevin B. Henbest, P. J. Hore, Christiane R. Timmel, and Stuart P. Mackenzie, *Journal of Physical Chemistry B* 118 (15), 4177-4184 (2014);
- R. Haberkorn, *Mol. Phys.* 32, 1491 (1976).
- J. K. Kammer, *Phys. Rev. B* 80, 056115 (2009).
- J. A. Jones and P. J. Hore, *Chem. Phys. Lett.* 488, 90 (2010).
- K. Maeda, P. Liddell, D. Gust, P. J. Hore, *J. Chem. Phys.*, 139, 234309-7 pages (2013); K. Maeda, C. J. Wedge, J. G. Storey, K. B. Henbest, P. A. Liddell, G. Kadi, D. Gust, P. J. Hore, and C. R. Timmel, *Chem. Comm.* 47, 8583 (2011).

埼玉大学大学院 理工学研究科

准教授

前田 公憲



略歴

- 1990年6月 東北大学大学院理学研究科化学専攻中途退学
1990年7月 東北大学理学部化学科 助手、
2000年4月 筑波大学化学系 講師、
2005年4月 オックスフォード大学博士研究員、リサーチマネージャ
(2009年10月—2011年9月 Research Associate, Corpus Christy College,
2011年10月—2012年9月 Honorary Japanese Ramsay Fellowship)
2014年4月より現職

2014年4月より現職

現在の研究分野/テーマ:

スピンドバイス、スピントロニクス、電子スピントン共鳴、磁場効果、動物の磁気感受

理事・監事・評議員

理 事

- 小谷 誠 東京電機大学 名誉教授
(理事長)
- 相澤 好治 北里大学 名譽教授
(副理事長)
- 渡邊 利三 Nikken International Inc. Chairman Emeritus
(専務理事)
- 井出 英人 青山学院大学 名譽教授
- 大久保 千代次 一般財団法人電気安全環境研究所 電磁界情報センター 所長
- 岡井 治 医療法人社団栄相会 深田クリニック 院長
- 北村 喜一 医療法人社団自靖会 縮水クリニック 院長
東京大学 名譽教授

監 事

- 青木 明人 平塚市民病院 元名譽病院長
- 土肥 健純 東京電機大学 工学部 機械工学科 教授

評議員

- 坂田 美子 日本医療科学大学 保健医療学部 学部長
首都大学東京 名譽教授
- 内川 俊則 東京電機大学 理工学部 電子・機械工学系 教授
- 小野 哲章 滋慶医療科学大学院大学 医療管理学研究科 教授
- 多氣 昌生 首都大学東京 都市教養学部 理工学系 教授
- 武田 常廣 株式会社新領域技術研究所 代表取締役社長
- 薩岡 徳穂 医療法人社団知己会 薩岡クリニック 理事長
千葉大学 客員教授
- 根本 稔 東京電機大学 情報環境学部 情報環境デザイン学科 教授
- 岩坂 正和 広島大学 ナノテクノロジー・バイオ融合科学研究所 教授
- 竹内 陽二 株式会社NIKKEN 代表取締役社長

賛助会員入会のご案内

当財団は、「磁気健康科学」に関する研究に対する助成、更には技術動向などの調査研究に対する助成を通じて磁気健康科学の発展を促進することで、国民生活や経済社会の発展に寄与するという趣旨に賛同される皆様から納入いただく賛助会費等によって運営されています。当財団の事業目的に賛同賜わり、賛助会員としてご入会くださいますようお願い申し上げます。

【会費】 賛助会員 1口／¥3,000(年間) ※1口以上何口でもご加入いただけます。

【申込手続き】 当財団のホームページから「賛助会員入会申込書」をダウンロードし、必要事項をご記入の上、当財団までご送付いただきますようお願い申し上げます。

- 「助成研究成果報告書」が配布されます。
- 「磁気と健康」(会報誌)が配布されます。
- 「磁気健康科学セミナー」に参加できます。

お問い合わせ先

公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団 事務局

TEL/FAX 092-724-3605

E-Mail zak@maghealth.or.jp

URL <http://www.maghealth.or.jp>

ホームページのご案内

1.下記URLを入力してください

<http://www.maghealth.or.jp/>

2.トップ画面より、ご覧になりたい項目をクリックしてください

※主な項目について以下をご参考ください

応募要項

研究助成にご応募される方は、こちらをご覧ください。

賛助会員

賛助会員の説明および、ご入会方法についてはこちらをご覧ください。

研究成果報告書

助成金授与者の研究成果報告書については最新号および、バックナンバーをこちらに掲載しております。

会報

会報誌「磁気と健康」の最新号および、バックナンバーをごちらに掲載しております。



公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団



磁気と健康 一 会報 第28号 一 2016年5月発行

発行所・編集・発行責任者： 公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団
〒810-0001 福岡県福岡市中央区天神1-13-17 Tel/Fax 092-724-3606 <http://www.maghealth.or.jp/>