

中立な立場から電磁界に関する科学的な情報をわかりやすく提供し、リスクコミュニケーションの実践を行います。



2009年9月25日発行
第 5 号

JET 財団法人電気安全環境研究所
電磁界情報センター

第5号:掲載内容

- 電磁界情報センターのチャレンジ
- センターの活動
 - ・電磁界情報センター総合討論会(11回シリーズ)の開催予定を企画しました
 - ・第1回電磁界情報センター総合討論会を開催します
～電磁界問題の過去・現在を知り、未来を考えよう～ 2009.10.20(東京)、10.28(大阪)
 - ・意見交換会を開催しました
2009.7.9(仙台)、2009.7.11(福岡)
- 海外の動向(その1)
 - ・低周波電磁界についてのサラエボ国際会議
- Coffee Break 1
 - ・電気に関する単位の話(第4話) ～オーム～
- 海外の動向(その2)
 - ・BioEM2009
- Coffee Break 2
 - ・電磁気今昔物語(第4話) ～動物電気～
- 電磁波問題あれこれ(第5話)
- Coffee Break 3
 - ・センター周辺散策(竹芝栈橋に行ってきたの巻)



JEICニュース No.5 2009年(平成21年)9月25日金曜日発行
編集 電磁界情報センター情報提供グループ
発行人 電磁界情報センター所長 大久保 千代次
住所 〒105-0014 東京都港区芝2-9-11 3F
電話 03-5444-2631 /FAX 03-5444-2632
Email jeic@jeic-emf.jp/URL <http://www.jeic-emf.jp/>

表紙の写真: 竹芝栈橋(本誌『Coffee break 3』参照)から見たレインボーブリッジ

電磁界情報センターのチャレンジ

～ 電磁界情報センター 倉成 祐幸 ～

今年7月から、情報提供グループマネージャーを務めております倉成祐幸と申します。東北電力からの出向で、これまで主に送電線の設計・工事・保守に携ってきました。44歳、中2と小4二人娘の父親であり、現在、家族を仙台に残しての単身生活を送っています。

当センターでは情報提供の任を与えられましたが、私は広報や報道の専門家ではありません。ですが、リスク・コミュニケーションの分野にはこれまでも関心を持っており、日本リスク研究学会の会員として数年前、当センターのシンポジウムでもおなじみの木下富雄先生を講師とした「リスク・コミュニケーション演習コース」を受講した経験があります。また、前職では、地域の皆様との電磁界コミュニケーションに幾度かたずさわってまいりました。こうした経験を当センターでの業務に活かしていきたいと考えています。

特に、情報提供グループの責任者として心得ておこうと考えていることに、「安全と安心は別物である」ということがあります。「安全だから安心せよ。」という情報発信の仕方は必ずしも成功しないということです。

リスク・コミュニケーション演習コースのプログラムには、ガソリン添加剤の土壌汚染事故を想定した模擬住民説明会がプログラムされており、私は企業の技術者としてメチルターシャリーブチルエーテル（MTBE）という科学物質のリスクを、地域住民の方に説明する役を演じました。「MTBEのリスクはIARC（国際がん研究機関）により2Bに分類されておりまして、・・・」と説明しましたが、住民役の受講生から「そんな役人が書いたみたいな説明文を棒読みされても、私は安心できないわ。」「そもそも、あなた名前も名乗らず説明を始めたけど、どういう立場の方なの？ どういう権限を持っているの？」「説明が長いよ。結局、私のお腹の中の赤ちゃんは大丈夫なの？」など、ロールプレイとは思えない迫真に迫る発言を受けたことを記憶しています。

実際の現場でも、電磁界の健康影響について「社会全体としては、仮にあったとしてもそれ程大きなリスクでないことは分かったわ。でも、その犠牲の一人が自分の子供だったらと思うとやっぱり不安だわ。」という意見も頂きました。これらは、リスクや安全性を十分に説明すれば、安心してもらえるはずだという私の思い込みによる失敗事例と言えます。

こうしたことは、社会心理学の世界ではよく研究が進んでいるようで、同志社大学中谷内一也先生は、著書『安全。でも安心できない・・・』（ちくま新書）の中でこう述べています。「いわゆる技術者と呼ばれる専門家は、安全と安心は単純な対応関係にあるべきだと考える人が少なくないが、一般消費者にとって、安全は必ずしも安心をもたらすとは言えない。」「安全は安心の必要条件ではあるが十分条件ではない」。

電磁界は安全なのか危険なのかというそもそもの議論が必要ですが、まずは一旦横に置いて仮に安全だと言えたとします。そういう場合であっても、皆様（特に市民・一般消費者の皆様）とのコミュニケーションにおいては、安全＝安心という単純な発想に陥らないよう注意してきたいと考えています。

（次ページへつづく）

中谷内先生は、安全と安心を結ぶキーワードは「信頼」であると述べています。さらに、人や組織が「信頼」を得るために必要な要素は、「専門的・技術的能力」「誠実な姿勢で業務に取り組む高い動機付け」「人々と価値を共有しているという類似性」であり、重要なことは、これらの要素を備えている事実ではなく、これら要素を備えているということを人々から十分に“見なされている”ことであると述べています。

電磁界情報センターの理念・目的は大きく①電磁界リスク情報の提供②電磁界リスク認知のギャップ縮小の2点です。

このうち、①電磁界リスク情報の提供についてはサイエンスベースです。当センターは「うわさ」や「ジャンク情報」は扱いません（もちろん、幅広く情報収集は行っています）。この点は、大久保センター所長からさまざまな機会に説明させていただいております。安全・安心のうち安全に関する議論は、再現性のある客観的な事実や精度の高いデータにもとづいて行われるべきだという考え方です。

一方、②電磁界リスク認知のギャップ縮小は、まさに安心の話であり個々人の主観の問題です。先の事例のように、単純に「安全だから安心して」という説明で解決するとは限りません。リスク認知のギャップの縮小とは、当センターが提供する情報等をもとに、電磁界リスクを過大視されている方には下方修正を、過小視されている方には上方修正をしてもらう作業です。したがって、中谷内先生の論に従えば、まずはセンターが発信する情報、そして、センター組織そのものが皆様から信頼されていることが必要となります。これはとてもチャレンジングな命題です。

電磁界のいかなるお問い合わせに対しても、「迅速かつ正確に回答できる専門性」、「中立性を基本にまじめさと熱意を持って対応できる高い意識」「様々な考え方に理解を示し、共に考えて行こうとする前向きな姿勢」、こうした点をどこまで実行できるか、そして皆様からどのように“見なされる”かがカギになるものと考えています。

電磁界情報センターは、例えば「国民生活センター」のように消費者紛争を解決する法的権限を与えられた組織ではありません。また、電磁界の発生源（設備・製品など）を取り扱う事業者のように、電磁界の安全性を自ら管理したり対策を実施したりすることもできません。したがって、当センターは中立的第三者機関として、業務範囲も情報発信の粋を大きくはみ出せないという限界があります。しかし、そうした限られた枠組みの中でも、当センター理念の実現に向けて積極的にチャレンジし、より良い社会作りに少しでも貢献できればと考えています。

電磁界情報センター設立以降、皆様からセンターへの期待やご要望、あるいは叱咤激励などたくさんのご意見をいただきました。それら一つ一つについて真剣に検討を加え、その回答をお返しすることからまずは始めていきたいと考えています。

今後とも、当センターの活動にご支援のほどよろしくお願いいたします。

以 上

電磁界情報センター総合討論会（11回シリーズ）を企画しました

電磁界情報センターでは、電力設備や家電製品などから発生する 50/60Hz（商用周波数）の電磁波（電磁界）に関して、工学から医学、生物学、そして国際動向やリスクコミュニケーションまで体系的な理解を深めていただくため、様々なテーマを設定した 11 回シリーズの「総合討論会」を企画しました。

一つ一つのテーマについて著名な先生方から講演をいただくとともに、フロアの皆様が参加できる討論時間も十分に確保する計画としています。

電磁界を体系立てて勉強してみたい方、特定のテーマだけ深く勉強してみたい方など、皆様のご関心にあわせご参加いただければと思います。多くのご参加をお待ちしております。

なお、テーマごとの開催案内は別途ホームページなどでお知らせいたします。

【開催時期】 平成 21 年 10 月から平成 24 年 3 月の間、3 か月に 1 回程度の頻度で実施

【開催地】 1 テーマについて、東京・大阪の 2 か所で実施

【テーマ】 以下 11 のテーマを計画しています。なお、テーマは順不同です。また、テーマ名や内容についても現時点の仮称・仮題であり、変更する可能性があることをあらかじめご了承ください。

テーマ(仮称)	内容(仮題)	開催時期
電磁界問題の過去・現在を知り、未来を考えよう	<ul style="list-style-type: none"> ● 電磁界問題の社会的動向の歴史 ● 電磁界の健康影響に関する研究の歴史 ● 電磁界問題への市民活動の歴史 ● 市民の電磁界リスク認知とその歴史 	(東京) 平成 21 年 10 月 20 日 (大阪) 平成 21 年 10 月 28 日
電磁界の健康影響 —発がん性「2B」の意味—	<ul style="list-style-type: none"> ● 電磁界の発がん性 小児白血病との関連 ● IARC による発がん性評価手順 ● 疫学研究から見た「2B」 	平成 21 年 12 月頃
電磁界の健康影響評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ● 国際機関(WHO)の例 ● 海外機関の例(NRPB/HPA、EMF RAPID 計画) ● ICNIRP の指針作成の考え方 ● Bioinitiative Report の意味 	平成 22 年 3 月頃
電磁界が発生するしくみと身の周りの電磁界	<ul style="list-style-type: none"> ● 電界、磁界、電磁界、電磁波とは何か ● 電磁界の測定方法(測定規格、測定器の紹介、など) ● 電気を送る仕組みと電磁界 	(検討中)

(次ページへつづく)

テーマ(仮称)	内容(仮題)	開催時期	
電磁界ばく露と小児白血病の可能性	<ul style="list-style-type: none"> •小児白血病の症状と発生原因 •なぜ電磁界で小児白血病が関心の対象となるのか •疫学研究からの示唆 	(検討中)	
電磁界の健康影響 ー生物学的研究・理論研究の視点からー	<ul style="list-style-type: none"> •動物実験や細胞実験からわかること •電界や磁界によって体内で起こる現象とそのメカニズム •電磁界の健康リスク評価における生物学的研究および理論研究の意義 		
「Precautionary Principle」の解釈	<ul style="list-style-type: none"> •「precautionary principle」の歴史と国際政治上の意義 •電磁界と「precautionary principle」 ー議論の経緯ー •電磁界と「precautionary principle」 ー各国の考え方ー 		
電磁過敏症の実態	<ul style="list-style-type: none"> •電磁過敏症とは •電磁過敏症の実態 		
電磁界の防護基準の考え方	<ul style="list-style-type: none"> •防護基準策定の手順と留意点 •防護指針の例(ICNIRP ガイドライン) •防護指針の例(IEEE スタンダード) 		
各国の電磁界政策	<ul style="list-style-type: none"> •各国の磁界制限の具体例 •各国の「prudent avoidance」政策の具体例 •WHO の推奨事項の実現方法 		
電磁界と リスク・コミュニケーション	<ul style="list-style-type: none"> •なぜ電磁界は怖がられているのか ーリスク認知のメカニズムとリスク・コミュニケーションー •ステークホルダ会議の事例 •リスク・コミュニケーションにおける報道機関の役割 	↓	

以上

第1回電磁界情報センター総合討論会を開催します

～電磁界問題の過去・現在を知り、未来を考えよう～ 2009.10.20（東京）、10.28（大阪）

電磁界情報センター総合討論会11回シリーズの第1回目の総合討論会です。

第1回目のテーマは『電磁界問題の過去・現在を知り、未来を考えよう』です。

電磁界問題の経緯、社会動向や研究結果について、専門家、市民、各々の立場から紹介していただくとともに、各分野でのこれからの課題などについて議論し、この問題の「現在」をあらためて皆様と認識し合いたいと思います。このような趣旨から、下記のとおり総合討論会を開催いたしますので、多くの方のご参加をお待ちしております。

記

《東京会場のご案内》

- 日 時：平成21年10月20日（火）13:00～16:30
- 場 所：国立オリンピック記念青少年総合センター カルチャー棟 小ホール
- 定 員：200名（参加費：無料）

《大阪会場のご案内》

- 日 時：平成21年10月28日（木）13:00～16:30
- 場 所：大阪国際交流センター 小ホール
- 定 員：200名（参加費：無料）

《プログラム（案）》

※東京会場、大阪会場ともプログラムは同じです。

- 13:00-13:05 開会挨拶・事務連絡 電磁界情報センター 事務局
- 13:05-13:35 市民の電磁界リスク認知とその歴史（仮題）
電力中央研究所 主任研究員 小杉 素子
- 13:35-14:00 電磁界に関する社会動向の歴史 電磁界情報センター 世森 啓之
- 14:00-14:15 休憩
- 14:15-14:40 電磁界の健康影響に関する研究の歴史
電磁界情報センター 重光 司
- 14:40-15:10 電磁界問題への市民活動の歴史（仮題）
電磁波問題市民研究会事務局長 大久保 貞利
- 15:10-15:25 休憩
- 15:25-16:25 総合討論
- 16:25-16:30 閉会挨拶 電磁界情報センター 事務局

○お申し込み

・インターネットからは右記へアクセス：<http://www.jeic-emf.jp/meeting/index.html>

・FAXから：上記URLよりFAX申込票を入手し、下記送信先へ送信ください。

【事務局】電磁界情報センター TEL：03-5444-2631 / FAX：03-5444-2632

E-mail：gest-jeic@jeic-emf.jp

以 上

電磁界情報センター意見交換会を開催しました

＝世界保健機関（WHO）からのメッセージ＝

2009.7.9（宮城）、2009.7.11（福岡）

平成21年7月9日（木）宮城県仙台市の太白区中央市民センターにおいて、7月11日（土）福岡県福岡市の九州大学芸術工学部において電磁界情報センター意見交換会を開催しました。仙台は平日夜の開催にもかかわらず14名の方に参加頂きました。また、福岡では九州大学大学院 芸術工学研究院 人間工学講座との共催により、九州大学の学生を含む29名の方に参加頂きました。いずれの会場も少人数ながら、素朴な疑問から専門分野に至るまで、幅広いテーマについて多くの意見交換がなされました。

以下に各会場から寄せられた主なご意見や質疑応答の概要について紹介します。

《仙台、福岡の意見交換会プログラム》

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. 開会挨拶・事務連絡 | 電磁界情報センター 事務局 |
| 2. シンポジウム（WHOからのメッセージ）の総括 | 電磁界情報センター所長 大久保 千代次 |
| 3. 質疑応答 | |
| 4. 意見交換会 | －皆様とセンターとのコミュニケーションの場－ |
| 5. 閉会 | |

《宮城会場の意見交換会の主な内容》

〔質疑応答〕

（会場）疫学調査において「磁界レベル4mG（ミリガウス；1mG=0.1 μ T（マイクロテスラ））を超える磁界ばく露で小児白血病の相対危険度が2倍との結果」ということを聞いたことがあり、磁界は危険という印象がありますが、どうでしょうか？

（センター）磁界ばく露と小児白血病の因果関係は明確になっていません。小児白血病は非常に稀な病気で、日本では残念ながら年間450人程度が発症しています。国立環境研究所の兜氏（故人）の研究では、発症者のうち送電線付近の4mG以上の高ばく露群では0.8%との報告があり、仮に因果関係があったとして、高ばく露群での発症は450人中約4人となります。一方、水道の中に含まれているベンゼンの含有量はベンゼンの発がんリスクの確率 10^{-5} で決められていて、日本の人口を約12,800万人とすると1,280人、仮に80歳まで生きるとすると年間の発症は16名ということになります。このような生活環境に存在するリスクをどう考えるかだと思います。

〔ご意見〕

・ガイドラインや規制を決めるのも、送電線下などの電磁波のリスクを負っている人の立場になって、決めて欲しい。

・以前、同じ会場で電磁波のことを講義する会があって参加したら、電磁波防止グッズを売る会社だった。今回も同じかもしれないと疑心暗鬼だったが、全然違って良かった。こんなに良い会なら、もっと宣伝して、多くの人に聞いてもらうようにして欲しい。

（次ページへつづく）

《福岡会場の意見交換会の主な質疑応答》

（会場）WHO の環境保健クライテリア（EHC）238 とファクトシート 322 の内容が違う理由は何でしょうか？

（センター）環境保健クライテリアは、WHO が選出した専門家で構成されるタスク会議で作成された健康リスク評価書。一方、ファクトシートは WHO の公式文書であり、公表にあたっては事務局長の承認が必要。環境保健クライテリア（EHC）238 を基に、WHO がこれをどう考えるかを公表したのがファクトシート 322 です。

リスク管理に対する両者の考え方は基本的には同じ。共に長期的ばく露影響に対するプレコーシヨンの政策的選択肢として、研究、コミュニケーション、緩和（磁界低減）を挙げている。ただし、タスク会議（2005 年開催）後の 2006 年末に WHO は「プレコーシヨンの枠組み」の提出を取りやめたことから、EHC で述べている緩和（磁界低減）政策に対する表現と、ファクトシートとでは表現が異なっています。更にプレコーシヨという言葉もファクトシートでは使用していません。

（会場）WHO のタスク会議メンバーはどのように選定しているのでしょうか？

（センター）世界各国の専門家を、専門性、性別、地域バランスを考慮して選定しています。電磁界に関係する人（利害関係者）は選定していません。WHO のスタッフ（事務局）がメンバーをノミネートし、クラスター長（WHO では事務局長の下に 9 つのクラスターという組織の長。詳細は電磁界情報センターニュース第 4 号『WHO 雑記』参照）が承認しています。

（会場）電磁波の健康影響について、周波数ごとに評価しないといけない理由は何でしょうか？

（センター）周波数 100kHz 程度を境として、電磁界（電磁波）が生体に影響する作用が大きく 2 つに分けられ、100kHz 以下では誘導電流発生による刺激作用、100kHz 以上は熱作用が支配的という背景があります。（参考：『時間変化する電界、磁界及び電磁界による曝露を制限するためのガイドライン（300GHz まで）』（1998 年 4 月；国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP））

（会場）発がん性の話題の中で、電界の話がでてくると、健康に影響があるというふうに思っていますが、実際はどうなのでしょう？

（センター）環境保健クライテリア（EHC）238 およびファクトシート 322 の両方とも、生活環境で遭遇する電界での健康影響はないと言っています。



（上の写真：意見交換会の様子、左側（宮城）、右側（福岡））

以上

海外の動向（その1） ～ 低周波電磁界についてのサラエボ国際会議 ～

2009年6月3-4日の両日にわたり、ボスニア・ヘルツゴビナの首都サラエボにおいて、低周波電磁界に関する国際会議が開催され¹、電磁界情報センター職員が参加しましたので、その内容を紹介します。

本国際会議は、フランスのパリに本部があるCIGRE²の下で、ボスニア・ヘルツゴビナCIGRE国内委員会が主催したものです。世界中から電気事業関連の研究者が参加しており、参加国の内訳は下表の通りです。

ボスニア・ヘルツゴビナ 24名、フランス 11名、カナダ 5名、スロベニア、イタリア各 4名、オランダ、ブラジル、ドイツ、オーストリア、ベルギー各 3名、スロバキア、ポルトガル、南アフリカ、オーストラリア各 2名、アイルランド、セルビア、クロアチア、フィンランド、スイス、チェコ、日本各 1名 計 78名

主たる話題は、1)交流電磁界（特性、計算、測定、低減技術）、2)直流電磁界（電界、磁界、コロナ・イオン）、3)電磁界の生体影響（実験、人体ばく露評価、ガイドライン、欧州規格、心臓埋め込み機器と電磁界）などを中心に5つのセッションが設けられました。

会議にあたり、ボスニア・ヘルツゴビナCIGRE国内委員会委員長、電力関係者、ならびにサラエボ市長から挨拶がありました。教育発表4件、口頭発表27件およびポスター発表21件が計画されました。発表は世界的な感染が懸念されていた新型インフルエンザの影響や、開催場所がサラエボというヨーロッパ中心部からは距離的に遠い場所であったからか、取り止めの発表が目につきました。全体的に新規性ある情報提供はありませんでしたが、低周波電磁界についての関心は継続して持たれており、フランスでは動物実験研究が進められていること、また作業員へのばく露評価、心臓埋め込み機器（ペースメーカー）への電磁界の干渉問題なども取り上げられていました。全体的に西欧諸国が旧東欧諸国をリードしているような会議の印象があり、特にフランスの研究者が会議をリードしているのが目立っていました。

2日間に渡った議論の結果を以下に示します。

(次ページへつづく)

¹ 国際会議の正式の名前は次の通りです。「International Colloquium “Power Frequency Electromagnetic Fields ELF EMF”」でボスニア・ヘルツゴビナのCIGRE国内委員会とCIGRE SC B2、B1、B3、B4、C3 およびC4 が共催しました。会場はサラエボ市内のHotel Europeでした。

² CIGRE: 民間の非営利団体 International Council on Large Electric Systems (国際大電力システム会議) の略で、1921年にフランスのJean T. Paspierre氏によって設立されました。多様性に富んだ送変電に関する技術問題を討議するところで、カバーする領域は、水力・火力発電所、送電線、ケーブルおよび変電所高電圧機器の技術であり、送電および系統連係システムの開発です。システムの保護、遠方制御、通信機器に関する問題を扱っています。加盟国に国内委員会があります(日本CIGRE国内委員会ホームページを参照)。

セッション1：架空送電線、地下ケーブルおよび変電所の交流電磁界

磁界測定に関する動向が報告されました。測定器、磁界計算ソフトは既に市販されている状況にあるが、測定手順の標準が定まっておらず、現在IECで標準化が進められている。また、磁界低減技術については、基礎的な技術は確立されている状況。特に、地下ケーブルの遮へい技術はすでに実用されており成熟技術であるとの紹介がありました。

セッション2：直流高圧架空送電線、交直変換所からの直流電磁界

運転中の直流高圧架空送電線近傍の電界（空間電荷の効果も含め）とイオン流の長期測定の必要性が指摘されました。

セッション3：電磁界の生物影響

今後の研究として、中枢神経系に対する高磁界（1,000から10,000 μT ）の影響に焦点を置いた研究の必要性が指摘されました。

セッション4：超低周波電界または磁界へのばく露

心臓埋め込み機器と職業ばく露に関して、ICD³を試験するための手法を扱うことを検討中であることが報告されました。また、科学的な結果を大衆（電力作業員、一般公衆、行政機関、司法など）が理解しやすく、安心してもらうために、如何にコミュニケーションツールを使うかという問題が提起されました。



サラエボ事件の舞台となった
ラティンスキー橋

セッション5：討論

念のための措置として電磁界規制を実施した多くの国で、電磁界の健康影響に対するリスク認知と公衆の懸念は、弱まるというよりもむしろ増加してくる傾向があることから、念のための措置としての政策を実施するには、十分に熟考しなければならないことが提起されました。さらに、公衆とのコミュニケーションが非常に重要であり、公衆の理解を深めてもらうためのコミュニケーション方をこれまで以上に模索しなければならないことが指摘されました。

本国際会議の教育発表で、ICNIRP⁴の議長であるベッキア（Vecchia）教授がICNIRP組織ならびにICNIRPガイドラインの策定・改定は科学的知見⁵に基づいていることを紹介しました。現在、1998年に発行したガイドラインの改訂を進めており、今年度中に発行することに言及していました⁶。

以上

³ ICD：植え込み型除細動器の略で、不整脈を治療するための体内植え込み型治療装置

⁴ ICNIRP：International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection（国際非電離放射防護委員会）の略で、電磁界、光放射（紫外線、可視光、赤外、遠赤外線）、超音波など、非電離放射の曝露による健康へのインパクト、必要に応じてばく露制限値に対するガイダンスを行う独立の組織です。

⁵ 発表の骨子は、以下の論文を参照。ICNIRP（2002）：General approach to protection against non-ionizing radiation. Health Physics vol. 82, pp. 540-548.

⁶ 2009年7月29日付けで、周波数1Hz-100kHzの電磁界ガイドラインのドラフト版がICNIRPホームページ上で公開されました。ICNIRP（2009）：Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields（1Hz to 100kHz）。
<http://www.icnirp.de/openELF/ICNIRPConsultationELF0709.pdf>

Coffee Break 1 ～電気に関する単位の話（第4話）～

オーム (Georg Simon Ohm) のはなし

シリーズの4回目は、抵抗の単位としてお馴染みの Ω (オーム) に関わる話をご紹介します。



オーム

小中学校で電気を最初に習う時に、電圧と電流の関係を知らず知らずのうちに「オームの法則」として勉強することになり、小さいときからお馴染みの法則です。このオームの法則を発表したのがドイツのオームで、フランス革命が勃発した 1789 年にバイエルン州のエルランゲンに生粋のドイツ人として生まれました (1789-1854)。オームの正式の名前は Georg Simon Ohm (ゲルグ シモン オーム) で錠前屋を営んでいる両親の長男として生まれ 7 人の弟妹がいました。

オームの法則は、線状導体の2点間を流れる電流 I が2点間の電圧 (電位差) V に比例するというものであり、 $I=V/R$ 、 $V=IR$ と表わされます。比例定数 R は電気抵抗で、物質に特有な“物質定数”です。単位はオーム (Ω) で表わされます。

1805 年、オームはエルランゲン大学に入学しましたが、学費が続かず、一度中退はしましたが、1811 年に同大学で博士号を取得しています。その後、1820 年頃から、オームはガルバーニ電池、安定して電気を作ることができるボルタが発明したパイル (電堆; 20 ページ参照) を使って、電流と電圧との関係を調べる実験を開始し、1826 年に出版された「ガルバニック電池の数学的研究: Die Galvanische Kette, mathematisch bearbeitet」の中で、電気回路に関する法則として「オームの法則」について言及しています。しかし、この法則はすぐには世間には認められなかったとされています。

オームの法則を発見してから 15 年後の 1841 年にイギリスのコプレー賞 (英国王立協会によって 1731 年に創立) が授与されました。その後、オームは英国王立協会の会員に選ばれて、社会的に注目され、ドイツ国内、世界で評価されるようになりました。なお、コプレー賞はアインシュタインやマックス・プランクも受賞しており、2008 年度はロジャー・ペンローズが授与されています。

1833 年には、ニュールンベルグの工業学校に職を得て、その後 1835 年にエルランゲンの数学の教授に任じられ、1849 年にミュンヘン大学の実験物理学の教授に任命されたのは、亡くなる 5 年前でした (3 年前とも言われています)。



1994 年ドイツ発行

1881 年の万国電気会議で電気抵抗の単位の名称として、オーム (Ω) が採用されました。この会議では、他にボルト、アンペア、クーロン、ファラッドなどの実用単位が制定されています。

以上

海外の動向（その2）

～ BioEM2009 ～

2009年6月14日から19日にわたって、スイス・ダボスで上記の国際学会が開催されました⁷。本学会は、米国生体電磁気学会(BEMS)⁸、欧州生体電磁気協会(EBEA)⁹が合同で開催した学会であり、合同での開催は第3回に当たり、BEMS学会は昨年まで30回にわたり開催され、EBEA単独ではこれまで通算8回開催されています。今回は、BEMSはクスター(Kuster)会長(スイス連邦工科大学)、EBEAはマリノ(Marino)会長(イタリア・エネルギー開発委員会)のもとで開催されました。本学会は健康影響、医学応用なども含め、医学、工学、理学を初めとし、電磁界のリスクを社会科学的な面からも取り上げ、電磁界研究に関連する学際領域をほぼ網羅しており、世界中の電磁界研究に携わっている研究者が一同に集合する機会となりました。電磁界情報センター職員が本会議に出席しましたので、低周波電磁界の話題を中心に以下に概要を紹介します。



ダボス市内に掲げられた開催案内

参加国と参加者

主な参加国と参加者は以下の表のとおりです。

アメリカ 63、ドイツ 49、フランス 43、イギリス 22、カナダ 22、スイス 46、スウェーデン 17、オーストリア 4、イタリア 32、フィンランド 18、オランダ 11、オーストラリア 12、ノルウェー 5、ポルトガル 5、ベルギー 8、ギリシャ 6、スペイン 5、ロシア 6、ハンガリー 5、オーストリア 4、イスラエル 3、デンマーク 3、南アフリカ 3、中国 3、韓国 28、日本 47、その他としてブラジル、スロベニア、ルーマニア、ニュージーランド、ポーランド、アイルランド、グルジア、リトアニアなどの国から1-2名ずつ参加、合計 498名(終了後入手資料より)。

(次ページへつづく)

⁷ 会議の詳細は、<http://bioem2009.org> から入手可能です。

⁸ 生体電磁気学会(The Bioelectromagnetics Society: BEMS)は、1978年に非電離放射線と生体との相互作用に関心を持つ、米国を中心とした生物学、医学、化学、物理学ならびに工学の各分野の専門家により設立され、ゼロHz(直流)から可視領域周波数帯までの電磁波および超音波エネルギーと生体との相互作用を明らかにすることを任務としている。2008年まで第30回の年次大会を開催し、2007年には石川県金沢市において第29回の年次大会を開催しています。

⁹ 欧州生体電磁気協会(The European BioElectromagnetics Association: EBEA)は、1989年に欧州で、電磁エネルギーおよび超音波エネルギーと生体との相互作用を解明すること、欧州における電磁界教育の促進などを目的として設立されました。

15日から19日にわたり、ポスター発表は280件以上がエントリーされておりましたが、40件ほどが発表取り止めとなっていました。また、口頭発表ならびにポスターでの発表に加え、「総会講演 (Plenary session)」、「注目のトピックス講演 (Topics in Focus)」および「教育講演 (Tutorial)」セッションが設けられ、電磁界研究に関する最新の研究現状の紹介に主眼を置いた発表がなされました。以下に、本大会での話題を幾つか紹介します。

1) 接触電流

疫学研究では、商用周波磁界へのばく露と小児白血病の発症との関連の可能性が示されていますが、この関連性は磁界ではなく、接触電流へのばく露に起因するのではないかという仮説に基づき、接触電流へのばく露と小児の白血病との間に関連があるかどうかを調べた疫学研究、ならびに接触電流により、人体内に生じる電流をモデル化した研究が発表されました。

米国電力研究所のキャベット (Kavet) は、小児の白血病と接触電流へのばく露、ならびに磁界へのばく露との関連を調べた疫学研究を実施しました^{10 11}。この結果は、屋外における接触電流および屋内における磁界へのばく露と小児の白血病の間には、関連は認められませんでした。

九州大学の林らのグループは、左手の掌、右手の掌、両足に接触電流を流した場合の、体内の電界および電流密度をモデル化しました¹²。この結果、四肢だけではなく腰（特に、筋肉、脳骨髄液、血液といった誘電率の高い組織内）にかなりの電界と電流密度が生じることが示されましたが、頭部には僅かな電流しか示されませんでした。同じ研究グループは、左手から両足、右手から両足、左手から右手に抜ける接触電流を通電させることで、心臓に流れる電流を計算しました¹³。左手から右手に抜ける場合を除き、全接触電流の33-40%が心臓を通過することが示されました。

2) ばく露評価

低周波電磁界のばく露評価ならびに測定装置について3つの口頭発表と12のポスター発表がありました。磁界の健康リスクの問題が提起されてから、20年以上にわたって作業者を対象にした磁界ばく露評価が行われてきました。特に、実際の作業時でどの職種がどの程度の電界・磁界にばく露されているかを明らかにする代替指標として職種・ばく露対応表 (JEM) が構築され、実際のばく露評価が行われてきました。ブラッケン (Bracken) らは、職種毎の電界・磁界のばく露状態を調べる「職種・ばく露対応表」に商用周波電流と電圧を考慮した指標を加えた対応表を構築しました¹⁴。対応表には、商用周波電界・磁界に加え、感知できる不快な電気ショック、感知できないような接触電流、電氣的傷害（電気ショック、感電死、電氣的な火傷など）が組み込まれました。これらは、

¹⁰ Foes M, Scelo G, Metayer C, Selvin S, Kavet R and Buffler P: Exposure to contact currents and magnetic fields and the risk of childhood leukemia. *BioEM2009* (6-2), 15-19 June, 2009.

¹¹ Kavet R and Hooper HC: Residential magnetic field and measures of neutral-to-earth voltage: variability within and between residence. *Health Physics* vol.97, pp.332-342 (2009)

¹² Hayashi N, Tarao H and Isaka K: Parameters affecting numerical estimation of internal body resistance of human model at power frequency. *BioEM2009* (p-83), 15-19 June, 2009.

¹³ Tarao H, Hayashi N, Isaka K and Matsumoto T: Numerical analysis of heart currents in an anatomical human model due to the contact with 60 Hz energized conductor. *BioEM2009* (p-62), 15-19 June, 2009.

¹⁴ Bracken TD, Kavet R, Patterson RM and Fordyce T: An integrated job exposure matrix for exposures to magnetic fields, electric fields, nuisance shocks, contact currents and electrical injuries. *BioEM2009* (13-2), 15-19 June, 2009.

電気的な傷害を除き慢性的な健康障害リスクとの直接的な関連性は確立されていませんが、潜在的な健康・安全性のリスク因子として認識されています。

フランスの RTE/CNER、EDF/R&D、ならびにベルギーの LABORELEC の 3 組織から、50Hz 電界と磁界の測定方法および測定結果の比較検討結果が報告されました¹⁵。測定手順と装置は IEC 61786 規格に準拠しており、測定に用いた装置は以下の表の通りです。測定は高圧変電所で行い、測定箇所を正確に決め、地上 1m で測定を行いました。測定時の 400kV 送電線の運転状況をモニタリングしています。電界の測定は、天気などに左右されます。実際のポスター発表では、測定自体の比較はなされていませんが、測定方法や測定器が違くと測定に要する時間が違ってくるため、測定をさらに効率よく進めるためのポイントを指摘しています。最終結果は今後発表予定です。

3つの組織で使用した電界と磁界の測定器

RTE (フランス)	PMM 8053 と EHP 50C (電界と磁界)
EDF R&D (フランス)	NARDA EFA 300 と 電界と磁界プローブ (磁界ばく露量計 EMDEX II を併用)
LABORELEC (ベルギー)	PMM 8053 と EHP 50A (電界と磁界)

3) 磁界への居住ばく露評価

個人と集団を対象にした時の、磁界ばく露を評価した結果がフランスと韓国から報告されました。フランス EDF のランブローゾ (Lambrozo: フランス電力公社) らは、フランスの保健省が着手した個人の磁界ばく露に関する大規模な研究の中間報告をポスターで発表しました¹⁶。この結果は、磁界ばく露量計、EMDEX II (Enertech, USA) を用いて、それぞれ 24 時間にわたる子供 (0-14 歳) 437 名と成人 553 名からなる、計 990 名のデータに基づいたものです。最終的には子供、成人それぞれ 1,000 名分のばく露データを取ることを目標としています。ばく露の算術平均値および幾何平均値は、子供で、それぞれ $0.11 \mu\text{T}$ および $0.03 \mu\text{T}$ で、成人については $0.15 \mu\text{T}$ と $0.04 \mu\text{T}$ でした。子供と成人の両方で高ばく露に関連する因子としては、電車での移動、コンピュータの使用時、枕元にラジオと一体型の時計を置いて睡眠をとること、集合住宅に住むことなどがありました。また、子供では年齢、成人では 2,000 人以上の都市に住むこと、個人用の電気温水器を使用することなどが要因になっていました。電力線への近接度は解析中とのことでした。

ホンシュンチュル (Seung Cheol Hong; 仁齋大学) らは、250 名の磁界ばく露を調べ、その結果を外挿して韓国国内で国民が曝される磁界ばく露レベルを求めました¹⁷。ばく露レベルは、磁界ばく露量計を 24 時間にわたって被験者に装着して測定しました。250 名全員の時間加重平均磁界ばく露は、 $0.16 \pm 0.46 \mu\text{T}$ ($0.01-5.99 \mu\text{T}$) で、ばく露レベルが高かったのは農村部でした。この結果から、 $0.2 \mu\text{T}$ 以上にばく露される国民は全人口の約 11.34% (95%信頼区間は 10.74-11.92)、 $0.4 \mu\text{T}$ 以上のばく露は、全人口の 6.07% (95%信頼区間は 5.34-6.8%) と推定しています (注記: 発表
(次ページへつづく))

¹⁵ Clément D, Deschamps F, Magne I and Burceanu M: Inter-laboratory 50 Hz EMF measurements. BioEM2009 (p-194), 15-19 June 2009.

¹⁶ Bedja M, Magne I, Souques M, Lambrozo J, Le Brusquet L, Fleury G, Azoulay A and Ruszxyński S: French population exposure to 0 Hz magnetic fields: intermediate results. BioEM2009 (p-64), 15-19 June 2009.

¹⁷ Hong S, Kim K, Han M, Kim D and Kim Y: Estimation of the ELF-MF exposure level of the Korean population through 24-hour personal exposure. BioEM2009 (p-105), 15-19 June, 2009.

原文では、総人口数に混乱が見られますが、実際の韓国の人口（約 4830 万人）に当てはめると、0.2 μT 以上にばく露されるには、50 万 5200 から 56 万 9700 人、0.4 μT 以上にばく露されるのは 25 万 1200 から 31 万 9800 人と推定されます。

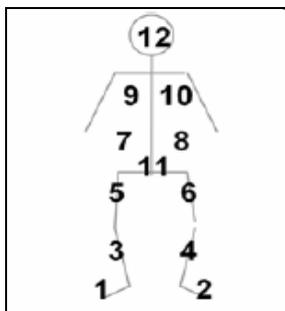
カンビョンへ（Kang Boung Hee；韓国電力公社）らは、送電線近くにある 258 箇所の「敏感な地域」（学校、集合住宅、病院など）での超低周波磁界の測定をした結果、平均磁界は 0.3 μT 未満、最大磁界を 8.54 μT と報告しています。さらに、平均磁界および最大磁界と、送電線の熱容量に基づく磁界との比率を計算しました。送電線の磁界は、送電線の負荷および容量に比例します。2006 年と 2008 年の運転実績から、送電線の熱容量に基づく磁界に対する平均磁界の比率は 24-25%、最大磁界の比率は 36-37%であると報告しています¹⁸。

4) ハイブリッド自動車と電気自動車の低周波磁界のばく露評価

シュミット（Schmid：オーストリア研究センター）らは、ハイブリッド自動車の運転に伴って車内に発生する磁界ばく露評価を報告しました¹⁹。ハイブリッド自動車は、基本的にはガソリンエンジン、バッテリーとモーターを組み合わせたものです。ばく露評価の対象は、下表に示すハイブリッド自動車および電気自動車 5 車種です。磁界の測定は、ナルダ（Narda）社の ELT 400 の 3 チャネルアナログ出力と磁界計（CA42/プローブ MF05）を用いて、運転手、助手席および自動車および電機自動車の各 12 箇所の測定点（下図参照）で、直流から 100kHz までの周波数帯について、実際の運転状態を模擬した状態で行いました。

表：磁界の測定に用いたハイブリッドカーと電気自動車

車種	タイプ	電圧	P _{Mot/Gen1}	P _{mot/Gen2}
トヨタプリウス	ハイブリッド	500 V	50 kW	33 kW
レクサス GS450h	ハイブリッド	650 V	147 kW	134 kW
ホンダシビック IMA	ハイブリッド	158 V	15 kW	—
フィアット Panda Electric	電気	216 V	30 kW	—
フィアット Doblo Electric	電気	216 V	30 kW	—



測定点

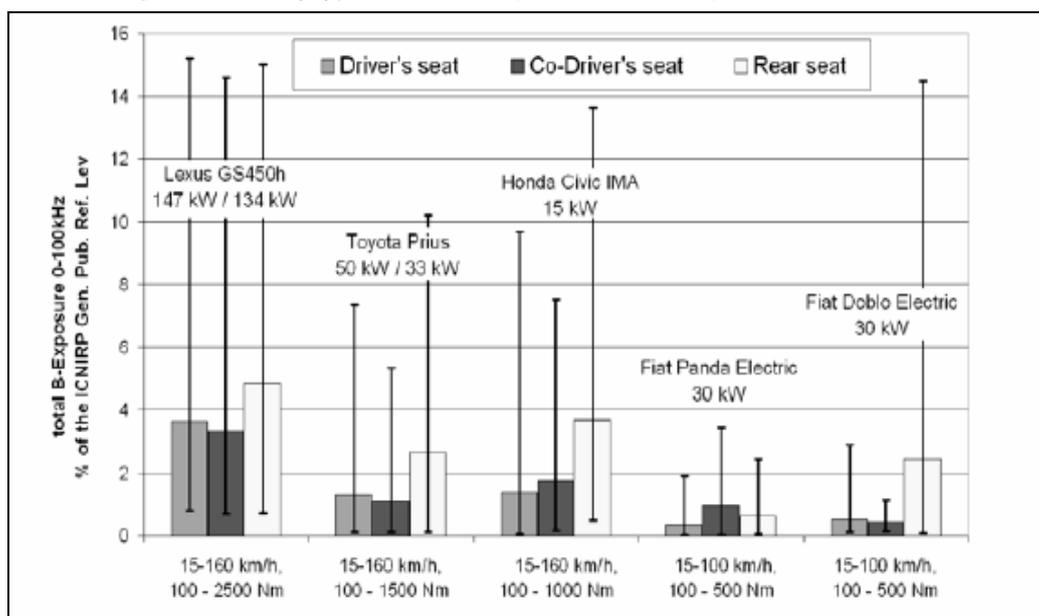
(次ページへつづく)

¹⁸ Boung-Hee K: The magnetic field measurement of the sensitive areas near T/LS and the elevation predicted maximum/average magnetic field value. BioEM2009 (p-85), 15-19 June, 2009.

¹⁹ Schmid G, Überbacher R and Göth P: ELF and LF magnetic field exposure in hybrid- and electric cars. BioEM2009 (9-3), 15-19 June 2009.

下図は、各座席の12測定点での磁界ばく露（0-100 kHz）の平均値を、ICNIRP の一般公衆ばく露の参照レベルとの比較（%）で示したものです。

ショミットらは、実際の運転状態を模擬した条件でのハイブリッド自動車および電気自動車では、乗員の100kHz までの磁界ばく露の平均値は、ICNIRP の一般公衆の参照レベルの5%以下、ピーク値は、参照レベルの15%程度であると結論付けています。また、タイヤの磁化による影響も調べましたが、その影響はほとんど無視できるとしてしています。また、モータの出力（kW）は磁界ばく露の指標とならず、電子部品やケーブルの配置などに依存するようであるととしています。また、磁界ばく露はエアコンの使用などにも影響されるようであるとのことです。



車体内の磁界の空間平均値。誤差は区間変化（spatial variation）

5) 微弱磁界の生体メカニズム

低強度の電磁界ばく露が生体組織に及ぼす影響の非熱的な作用の可能性について、これまで様々なメカニズムが提案されてきました。今回、作用メカニズムとして注目を集めているラジカルペアメカニズム（Radical Pair Mechanism: RPM）、生物物理—生化学—生物応答のカスケード現象（Biophysical—biochemical—biological responses）として考えられている作用メカニズムの2つについての話題提供がなされました。前者は鳥が渡りをする際の方位付けを説明するメカニズムとして取り上げられるようになってきています。

ティンメル（Timmel: オックスフォード大学）は、弱い磁界が生体に及ぼす影響におけるRPMの役割を紹介しました²⁰。RPMの役割が注目を集めているのは、1) 電磁界とヒトの健康に対する潜在的なリスク、2) 動物の渡りと方位付けを説明するための研究、の2つであることを述べ、RPMの理解には、化学と生体系、特に磁気共鳴の基礎的な理解が必要であることを指摘しています。ティンメルはトリの渡りに関する文献を引き合いに出して、動物の体内磁気コンパスに加え磁気マップも確立

（次ページへつづく）

²⁰ Madea K, Henbest K, Rogers C, Wedge C, Robinson A, Hore P and Timmel C: The role of the radical pair mechanism in the discussion of weak magnetic fields effects on biological systems. BioEM2009 (TF1-1), 15-19, June, 2009.

しているかもしれないと述べ、トリは磁界をより正確に検知し、地磁気の傾斜と強度を認知する能力を有しているのではないかと述べています。

6) サテライトシンポジウム

Bio2009 のサテライト・シンポジウムとして、スイス政府が支援している国家研究プログラム「非電離放射の健康と環境」(NRP57) の中間成果報告会がとして6月14日に開かれました²¹。このプログラムは、Swiss National Science Foundation が4年計画で進めているもので、2010年に最終報告書が公表される予定です。プログラムの内容はドシメトリ、細胞生物学、実験室研究/疫学、リスク認知など多岐にわたります。今回の中間報告会の発表を下表に示します。

表：スイス NRP57 プログラムの中間報告

1. ドシメトリとばく露評価	
非管理環境下での胎児の電磁界ばく露評価	A Christ
生きた細胞の画像化のための低周波ばく露装置	M Capstick
ヒトの中枢神経系への累積ばく露、時間および周波数領域での解析	S. Kühn
2. 細胞生物学	
非電離放射の遺伝毒性影響の理解に向けて	F. Focke
高周波電磁界とストレス応答：アセチルコリンエステラーゼの選択的スプライシングに対する高周波電磁界の影響	F. Alaeddine
ポリグルタミン凝集を示す遺伝子改変した線虫 (C. elegans) に対する携帯電話電波の影響の特徴	P. Haldimann
3. 実験室研究と疫学	
ヒトの脳に対するパルス変調高周波電磁界の影響：重要な界のパラメータ、相互作用の部位、若年者の感受性	S. Loughran
UMTS 電磁界はヒト脳の血液循環に影響するか？近赤外線画像での研究	S. Spichting
スイスの人口集団サンプルにおける高周波電磁界への個人ばく露：疫学研究での個人ばく露評価の改良における意味合い	M. Rössli
4. リスク認知	
何が非電離放射の認知を決めるのか？潜在的な尺度からの証拠および専門家と一般人との自由な関係	S. Dohle
危険なタワー、無害な電話？非電離放射と関連したリスクについてのスイスの新聞における報道	P. J. Schulz

(次ページへつづく)

²¹ Satellite Symposium BioEM2009 NRP57 "Non-Ionizing Radiation-Health and Environment" A research programme of the Swiss National Science Foundation. Organizer: Swiss National Science Foundation, National Research Programmes. Date 08:30-16:00, June 14, 2009. Congress Centre Davos, Davos, Switzerland.

低周波電磁界については、そのうちドシメトリと細胞生物学に関する発表がありました。クリスト（Christ：IT' IS 財団²²）は、非管理環境における胎児の電磁界ばく露の評価を報告しました。クリストらは、妊娠3ヶ月および7ヶ月の胎児（および母胎の腹部）の解剖学的モデルを開発済みで、現在は9ヶ月のモデルを開発中です。クリストは、このモデルを用いた複数のばく露評価の結果を示しました。一例として、誘導加熱式（IH）調理器から発生する20kHz磁界への7ヶ月の胎児のばく露評価モデルでは、推定される電流密度は全身では、60 mA/m²以上、神経組織では12 mA/m²であるとの結果が得られたとしています。ただし、これらの値は、現行のICNIRPの制限値より小さいですが、調理器の機種や条件、また体の場所によってもばく露は大きく変わることも述べています。この発表は研究の中間報告であり、数値計算やモデルの不確実性やばく露制限値との比較などを今後計画しているとのこと。

また、キャプスティック（Capstick：IT' IS 財団）らは、生きた細胞の画像化のための4mTまでの低周波磁界をばく露できる小型の装置を開発したと報告しました。

プリモ・シエール（Primo Schär：バーゼル大学）らは、電磁界は、DNAの損傷を誘導することはないが、DNA損傷のように見える何かにつながる生物学的応答は誘導すると発表しました。また、コメットアッセイ（細胞障害検査で細胞におけるDNA損傷を検出する技術）はDNAに対する電磁界の影響を確かめるには最善の方法ではないかもしれないと述べている。

【総括】

既に述べたように、BioEM 2009はBEMSおよびEBEAの共催で開催されました。世界中の国から約500名が参加しました。発表内容は、数年前からの傾向ですが、高周波電磁界の健康影響についての発表が多数を占めるようになってきており、低周波電磁界についての発表は減少してきています。

低周波磁界と小児白血病の関連性については、国際がん機関から発がん性分類『2B』と評価されていますが、その病因については殆ど不明です。米国の研究者は、小児白血病の発症の病因の一つとして、接触電流が考えられるという仮説を提案して、実験研究および疫学調査を進めてきました。その結果として、接触電流は小児白血病の病因とは考えられないと発表されました。ただし、この発表者は、接触電流が小児白血病の要因のひとつである可能性は残っていると講演で述べています。

最近の環境問題に呼応して、エコカーとしてのハイブリッド自動車や電気自動車が人気を集めていますが、これらの自動車の走行中に乗員がばく露されるであろうと考えられる低周波電磁界のばく露評価を行い、ICNIRPガイドラインとの比較結果が報告されるなど、新しい展開を示す報告も見られました。

今年度はBEMSおよびEBEAの共催でしたが、来年度は、それぞれ単独開催になります。2010年度のBEMSは韓国・ソウルで6月14-18日の予定で開催されることがすでに決まっており、2011年度の開催はカナダのハリファックス（Halifax：ノバスコシア州の州都）で6月12-17日の期間で開催することが決定しました。

以上

²² 正式名はThe Foundation for Research on Information Technologies in Society（社会における情報技術の研究のための財団）で、スイス連邦工科大学（ETH）の支援により、1999年に設立されました。非営利の研究組織で、電磁界の生物学的影響に関する研究用のばく露装置の開発・製作などに携わっています。

Coffee Break 2 ～電磁気今昔物語（第4話）～

《動物電気》

フランクリンが有名な凧の実験により、雷が電気であることを証明した実験（1752）を行い、避雷針を考案してから、約40年後にイタリア・ボローニア大学の解剖学者ガルバーニ教授が、カエルの神経筋が痙攣することから、動物電気（生物電気）を発見したとされています。しかし、既に紀元1世紀には、電気魚のことが知られており、電気魚による電氣的治療として、ローマ皇帝クラウディウスの宮廷医者のスクリボニウス・ラルグスが、シビレエを痛風の治療に用いたとされています。旅行記「新大陸赤道地方紀行」に、電気魚は放電によって馬をも倒すと書いているドイツのアレキサンダー・フォン・フンボルトは、動物電気に興味を持ち、その本質を明らかにする実験を繰り返し行い、電池を発明する一歩手前のところまで到達していたのではないかとされています。

電気魚などで見られる発電現象が生命を営んでいくのに必要な電気現象であるとして学術研究で取り上げられるようになったのは、先に述べたガルバーニ教授（Luigi Galvani, 1737-1798）がカエルを用いた実験を行ってからであると言えます。カエルを使い多くの実験を行ったガルバーニは、1737年にボローニアで生まれ、ボローニア大学のガレアッチ教授に解剖学を学び、同大学に勤め、ガレアッチの娘と結婚しました。時代は、ライデン瓶など電気を発生する装置が作られ、電気ショックを治療に用いる研究が進められるようになった時代であり、ガルバーニは筋の収縮に関する研究を進めました。当時は、ヨーロッパを席卷しようとしていたナポレオン（1769-1821）が1796年に北イタリアを占領した頃です。ガルバーニはナポレオンに忠誠を示す宣誓を拒否したために、1798年4月にボローニア大学の職を解かれ、追放され、数ヵ月後失意のうちに亡くなりました。



ガルバーニ

ボローニア大学で教授として在職中の1786年以降、妻のルチアを助手にしてガルバーニは起電器で起こした電気でカエルの脚を刺激する実験を行いました。起電器によって電気を発生させ、その影響を見る以外に、空中電気の影響をみるためにカエルの神経筋標本の一端を銅線で抑え、鉄の格子にぶら下げておくと、風で筋が鉄の格子に触れると筋が収縮する現象を観察しました。ガルバーニは、この現象を空中電気がなくても筋の収縮が見られるとし、筋肉には電気があり、筋と格子が触れるたびに電気回路が出来上がり、筋の電気が回路を伝わって流れ、その電流で収縮が起きるとしました。1791年、これらの結果をガルバーニはボローニア大学紀要に「筋肉の動きによる電気力」と題するラテン語の論文で発表した。その中で、ガルバーニはカエルの筋を用いた実験結果から、観察した現象を次のように解説しています。「筋はライデン瓶のように電気を蓄え、金属で回路を作ると放電し、この放電によって筋肉が刺激され、収縮する。」

（次ページへつづく）

今日、電気刺激で刺激興奮するのは神経細胞（ニューロン）であることがわかっています。神経細胞は長い軸索を持ち、ここを電気信号が伝わり、イカのような軸索が広くて大きな神経では、そこに微小な電極を差し込むことで、神経の膜を通して内側と外側とで静止電位、電位差の発生を確認することができます。この神経の興奮や抑制などの電氣的活動、活動電位の発生には、 Na^+ 、 K^+ などのイオンチャネルの開閉が関与していることは、イギリスの生理学者ホジキン、ハックスレー両教授によって明らかにされています。両教授は、オーストラリアのエックルズ教授と一緒に1963年にノーベル生理学・医学賞を授与されています。



ボルタ

1791年は、ガルバーニが発表した報告により、「動物電気」、「金属電気」の議論が切って落とされた年であります。ボローニャ大学紀要を読んだ物理学者ボルタ（Alessandro G.A. Volta, 1745-1827）は、動物電気に興味を持ってガルバーニの実験を繰り返し、その結果を1794年の英国王立学会誌に発表しました。そこでは、電気を発生するのは筋肉ではなく、金属そのもので筋肉の収縮は電気による神経の興奮であるとして、ガルバーニの発見を否定したのでした。ボルタは、1794年度の英国王立協会のコプレー賞を授与されています。

ガルバーニの甥であるアルディーニ（Giovanni Aldini : 1762-1834）は、叔父の実験を手伝い、切り離したカエルの脚に電流を流し、反応を見る実験を繰り返し行いました。アルディーニは1794年にボローニャ大学の自然哲学の教授になり、その後、1798年にガルバーニが死んだ後、ヨーロッパを旅して、ガルバーニの動物電気を見世物として行うようになっていました。ヒトの死体に電気ショックを与え、蘇生させることを見せるような過激な見世物であったとされています。アルディーニはロンドンでもデモンストレーションを行っており、イギリス・ロマン派の詩人、パーシー・シェリーもアルディーニの実験に興味を持ったのではないかと思います。会話の中にアルディーニの動物電気の話があったであろう夫人のメアリー・シェリーが、若干二十歳の1818年に、最初のSF小説といわれている有名な「フランケンシュタイン」を発表しています。序文に「おそらく^{しかばね}屍をよみがえらせることはできるだろう。ガルバーニ電流がその証拠を示している」とガルバーニの動物電気が創作のインスピレーションになったことが述べられています。

ガルバーニの発見を否定する発表をした1794年以降、ボルタは、さらに色々な金属の組み合わせによる電位差を調べ、最終的に2つの異なった金属を液体につけるか、金属の間に湿った布を挟むことで電気が生じることを示しました。最初、ボルタは亜鉛と銀の板を重ね、その間に食塩水を浸した布で電池を構成させました。これを幾重に重ねることにより、パイル（Volta's pile : 電堆^{でんたい}）を作り、電気を取り出すことを発見したとされています。今日では、これは接触電位と呼ばれています。試行錯誤の上、ボルタは「異種の導電性物質の接触によって発生する電気について」と題する画期的な論文として取りまとめ、この報告は1800年に英国王立協会の年報に掲載されました。

（次ページへつづく）

報告の内容は、パイルによって安定的に電気を取り出すことができるボルタ電池の発明は、その後の電気の学術進歩に大きく寄与し、今日の電池の発展の基礎となっています。

ガルバーニとボルタが論争をしていた時代は、フランス革命の直後であり、ナポレオンが天下を取っていった混乱の時でした。その流れはイタリアにも及び、ガルバーニとボルタ、共に時代の大きなうねりの中に巻き込まれていったのでした。

ボルタは、北イタリアのミラノ近く、アルプスの麓のコモで 1745 年に名門の家系に生まれ、33 才でパピア大学の物理学教授に招かれています。ボルタは若い時から、雷などの電気現象に興味を持ち電気盆を発明しています。49 才で結婚したボルタは、1794 年以降、多くの実験の結果を次々と発表して行きました。1781-1784 年にかけて、ボルタはイタリアからイギリス、フランス、ドイツなどへ旅立ち、ラボアジエ、フランクリン、リヒテンベルグなど当代の著名な科学者と会っています。また、ボルタは、ナポレオンには忠誠をつくして気に入られ、レジオン・ドノール勲章が授与されています。1803 年、彼はナポレオンにパピア大学の教授の職を退くことをナポレオンに願い出しましたが、ナポレオンは、この願いを拒否する一方で、ボルタへの年金を増額しています。その後、1819 年には大学を去って、コモに戻り、1827 年に 82 才で亡くなっています。

1790 年代以降、ガルバーニによる動物電気、ボルタによる金属電気の論争がなされました。この動物電気と金属電気の論争は、それぞれ科学的な真理を掴んでいたことから、その後の学術の発展に大きく寄与しました。ガルバーニの動物電気の実験からは、電気生理学が基礎科学の一分野となって行き、ボルタの金属電気の実験は、電池の発見、ひいては現在の電磁気学の発展に寄与することになっていきました。ちなみに、福沢諭吉の有名な福翁自伝を見ると、「ガルヴァニの鍍金法というものも実際に使われていた。(原文)」と、ガルバーニが電気の代名詞のような言葉で書かれています。また手元にある英和辞典を見ると、「Galvanism」、「Galvanize」、「Galvanometer」、「Galvanotropism」など多くの専門用語がガルバーニの名にちなんでいることが分かります。また、ボルタは、電圧の単位名、ボルト (Volt V) に名を残しており、彼の業績が燦然と輝いています。

参考)

- (1) Michael Brian Scheffer: Draw the lightning down (University of California Press, 2003).
- (2) Joseph F. Keithley: The story of electrical and magnetic measurements- from 500 BC to the 1940s (IEEE Press, 1999)
- (3) シェリー、メアリー：フランケンシュタイン (森下弓子訳) (創元推理文庫、1984)
- (4) 福沢諭吉：福翁自伝 (岩波書店、ワイド版岩波文庫、1991)

以上

電磁波問題あれこれ ～第5回連載～

「生活環境中の電磁波と規制値（ガイドライン）」

電気の使用を伴う生活様式の定着や電波などの通信技術の進化による通信環境の変化により、現代の生活環境では、さまざまな電磁波の中で日常生活を送っていると言えます（電磁界情報センターニュース第3号および第4号『電磁波問題あれこれ』参照）が、我々はその電磁波を直接見たり、感じたりする事は出来ません。電力設備や電気製品などの使用で、その周辺に発生する50や60ヘルツ（Hz、1Hz＝毎秒1サイクル）の商用周波電磁界に近づくことにより、ヒトの体内に電流と電界が発生します（これを『誘導される』と言います。ただし、日常の生活環境では、その誘導される電流や電界の強さは、ヒトが生理的に生体内で発生する電流や電界よりもずっと低いと言えます）。

電界にばく露されると、毎秒50や60サイクルで振動する電荷が体表面に発生しますが（これにより体内に電界や電流が発生しますが、これを誘導されると言い、誘導される体内の電界の強さは外部電界よりも何桁も小さいと言えます。）、これをヒトは感じる事ができます。感じ方は外部電界の強さ、周囲環境条件や個人の感受性に左右されますが、ボランティアによる実験によると、参加者の10%が電荷を感じると答えた最低値（閾値）は2 - 20 kV/mでした。また、参加者の5%が15 - 20 kV/mで不快に感じる事が分かりました。この様な体表面に誘導される電荷による不快な刺激作用を除けば、20 kV/mまではヒトへの健康影響はないと考えられています。また、これまでの研究では100 kV/m以上の電界でも動物の繁殖や成長に何らかの影響を与えることは確認されていません。商用周波電界が発生する代表的なものとして電力設備があげられますが、我が国の電力設備に対する商用周波電界の規制値は3 kV/mですので、日常生活を送っている限り電界によって悪い影響が起こるとは考えられません。

磁界にばく露されると、体内に電流や電荷が誘導されますが、日常生活で出会う強さの商用周波磁界でヒトの生理機能や行動に影響を与える事はありません。5mT（ミリテスラ）までは、血液、心電図、心拍数、血圧、体温などの指標にほとんど影響をあたえることはないことが研究でわかっています。我が国が今後導入する予定の電力設備の磁界規制値は、50ヘルツで0.1mT（100mG（ミリガウス）；100 μ T（マイクロテスラ））、60ヘルツで0.083mT（833mG（ミリガウス）；83.3 μ T（マイクロテスラ））です。

これらの値は、国際的な組織である国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）によって提唱されていますが、この科学的な根拠は、周波数が100キロヘルツまでの低周波は外部の電磁界によって誘導される電流や電界がヒトの神経系へ影響を与える事から導き出されたものです。この値は前述の神経系の刺激や中枢神経系への一過性反応を避ける為に設けられていますが（これを基本制限と言います）、実際には体の中の電流や電界を測定できないので、その様な環境を作り出すと思われる外部の、測定可能な指標である磁界の強さ（ミリテスラなどの単位）を用いて設定しています（これを参考レベルと言います）。

（次ページへつづく）

なお、ICNIRPのガイドラインは、職業環境と一般環境では値が異なります。職業環境は健康な人々が従事していると考えられ、前述のヒトの神経系へ影響を与えると推定されるの最小値（例えば5mT）の10倍厳しい値（例えば0.5mT）となりますが、一般環境では、病人、老人、乳幼児、妊婦なども含まれていますので、職業環境の規制値よりもさらに5倍も厳しい値（例えば0.1mT）が適用されています。現在ICNIRPでは、2007年に行われたWHOによる低周波電磁界のリスク評価（環境保健クライテリア238）を受けて、1998年にICNIRPが提案したガイドライン値の見直しを行っています。今年7月末に提案された新たなガイドライン（案）でも、商用周波電磁界のガイドライン値に変更はありません。

（次号へつづく）

以上

Coffee Break 3 ～ センター周辺散策(竹芝棧橋に行ってきましたの巻) ～



竹芝埠頭公園内のマスト

大門・浜松町駅を出て東方向に歩き、首都高速をくぐると、船のマストが見えてきます。そこをめざして歩くと竹橋埠頭公園に突き当たります。まず、公園入り口でモアイの様な像に迎えられ、そのまま進むと船の甲板を模した広場とその中央にそびえ立つマストに行き当たります。これは、公園が竹芝客船ターミナルの入口でもあるためだと思います。公園は二階建てのようになっている、二階部分に船乗り場があり、近隣の複数のビルをつなぐテラスのような役目もしています。

東京湾にむけて大きく開けていて、お台場やレインボーブリッジを見渡すことができます。見晴らしが良い所にベンチがたくさん置いてあり、歩行者デッキが整備されているため、天気の良い昼間に散策に行くのもお勧めです。

平成7年に完成したという事と、客船ターミナルと繋がっている事もあってか、公園にエレベーター、エスカレーターも完備しており、バリアフリーとなっているようでした。

近くのビルにはレストランやホテルもあり、景色を眺めながらの食事もできます。



公園入り口の像

また、竹芝客船ターミナルには物産店が併設されていて、島の焼酎、明日葉の加工品、島とうがらしなどの珍しい加工品もありました。夜景を見たい時にもお勧めのスポットです。



お台場方面

(球体がある建物はフジテレビ社屋)

以上

《電磁界情報センター賛助会入会のご案内》

当センターは、センターの活動にご理解をいただける皆様方の賛助会費によって支えられています。

賛助会員には、

- 法人特別賛助会員（1号会員） 年会費100万円/口
- 法人賛助会員（2号会員） 年会費 1万円/口
- 個人賛助会員（3号会員） 年会費 3千円/口

の3つの種別があります。

入会をご希望される方は、下記ホームページURLへアクセスまたは担当者まで電話/FAXにてお問い合わせ下さい。

電磁界情報センターホームページURL : <http://www.jeic-emf.jp/>
電話 : 03-5444-2631 / FAX : 03-5444-2632

・ ・ 編集後記 ・ ・

電磁界情報センターは、7月から倉成グループマネージャーを始め2名を新しいメンバーに加えて総勢9名となり、より活気溢れる雰囲気運営していくこととなりました。

また、これまでの「シンポジウム」という名称を「総合討論会」へ改名して、主に商用周波数の電磁波（電磁界）に関して、体系的に理解を深めていただくためことを目的に、11回シリーズものを企画しましたので、積極的にご参加いただければと思います。

.....

再び、新型インフルエンザが流行しているようですので、個人でできるような対策（マスク着用、手洗い・うがいの励行など）は準備・実施し、予防に努めたいものです。