

くない。また追加研究は必要ないかもしれない。この点についても、追加研究に関する科学的仮説に関心のある注意深い読者は、前述の4つの章で記述した知見のより詳細な説明を詳しく検討していただきたい。

最終評価と、評価を支えている証拠についての簡略な説明を以下に示す。

#### 5. 1 ヒトへの発がん性

WG は、ELF-EMF を「人に対して発がん性があるかもしれない」という分類（グループ 2B、付録 B）であると結論づけた。この評価は、WG の 19 人のメンバーに支持された結論である。WG での投票では、8 人のメンバーがグループ 3「発がんの可能性があると分類できない」への分類を支持し、1 人のメンバーがグループ 4「発がん性はない」への分類を支持し、1 人が棄権をした。欠席や投票しなかったメンバーはいなかった。最終投票を欠席した 2 人のメンバーは、彼らの投票が何になるかということについて明確な指示を残しており、それらは上記カウントに記録されている。

##### 5. 1. 1 評価を指示する疫学研究からの証拠

WG メンバーの多数（26 人中 20 人）は、小児白血病に関する疫学研究結果に基づき、居住環境における ELF 磁界の曝露は、子供に対して発がんの危険性があるとして、「限られた発がんの証拠がある」と結論づけた。また、残りの 6 人のメンバーは「不十分な証拠がある」と結論づけた。この全体評価は、磁界曝露計算値と小児白血病リスクとの関連性、24 時間測定された磁界曝露量と小児白血病リスクの関連性、ワイヤコードと小児白血病リスクの関連性の三つの証拠から支持されたものである。なお、これらの結果を支持するものとして、家庭内における磁界のスポット測定における不十分な証拠がある。WG メンバー 25 人

の内、多数 14 人は、慢性リンパ性白血病についての研究結果に基づき、職業的な ELF 磁界曝露は「人に対して限られた発がんの証拠がある」とした。また、残りの 11 人は、「不十分な証拠がある」と結論づけた。慢性リンパ性白血病と磁界曝露の関連性は、三つの発病研究（スウェーデンの二つの研究とカナダ・フランスの共同研究）と米国で行われたひとつの死亡率研究から評価された。死亡証明書からの診断に基づく米国での研究では、関連性は見出されていない。カナダ・フランスの研究では、全体と三つのコホートのうちの二つにおいて有意でない危険性の増加が見られた。しかしながら、三つのコホートのフォローアップや定義の違いが、これら結果の解釈を制限している。有意な危険性の増加が、スウェーデンの二つの研究（Floderus et al., 1993; Feychting et al., 1997）において見られた。Feychting らの研究では、大人の職場環境と居住環境とを合わせた曝露における潜在的な重要性について独特の情報を提供しているが、特に女性において、数が少ないことと曝露評価が十分でないことに欠点がある。Floderus らの研究においては、曝露レベルが増加するにつれて危険性が増加し、特に高い曝露地域において危険性が強く、可能性のある交絡因子への曝露を調整した場合でも幾分増加した。しかし、この研究においては、調査に協力しなかった人の割合が、結果においてバイアスとなっているかもしれない。

投票した WG メンバーの多数（25 中 22 人）は、ELF-EMF への職業曝露と他のがんとの関連性について、不十分な証拠があると結論づけ、2 人の投票メンバーは限られた証拠、1 人は影響が欠如している証拠があると結論づけた。考慮されたがんは、急性骨髄性白血病（4 研究）、脳腫瘍（5 研究）、男性の胸部がん（10 研究）、女性の胸部がん（4 研究）であった。大局的にみて、不十分

であるという見解は、研究方法の制限や、いくつかの研究にわたる見解の不一致や関連性の欠如によるものである。

投票した WG メンバーの大多数 (25 中 24 人) は、居住環境における ELF 磁界への曝露は成人の発がん性があるとする不十分な証拠があると結論づけた。投票したメンバーの他の 1 人は、影響の欠如を示している証拠があると結論づけた。この評価で考慮されたがんには、白血病 (二つの電気製品使用の研究、三つの送電線からの距離の研究、二つの測定磁界の研究、ひとつの計算磁界の研究)、胸部がん (4 研究)、神経系のがん (3 研究) が含まれた。大局的にみて、不十分であるという見解は、研究方法の制限や、いくつかの研究にわたる見解の不一致や関連性の欠如によるものである。一般的に、居住環境における磁界曝露とがんの危険性との関連性は、それ自身確実にポジティブと言えるものは無かったが、これらすべての研究において、曝露評価の品質が重大な限界となっている。

小児の中樞神経系の腫瘍に関しては不十分な証拠がある。この結論は 25 人のワーキンググループメンバーによって支持された。2 名の棄権と 2 名の欠席があった。

小児のリンパ腫に関しては不十分な証拠がある。この結論は 25 人の WG メンバーによって支持された。2 名の棄権と 2 名の欠席があった。

#### 5. 1. 2 評価を支持する実験動物の in-vivo 発がん研究からの証拠

投票した WG メンバーの多数派 (27 人中 19 人) は、ELF-EMF の曝露の発がん性に対する実験動物には不十分な証拠があると結論した。 ; 他の 8 名は影響が欠如している証拠があったと結論した。WG の総合評価は、研究のほとんどは発がん性の欠如を示唆しているし、ボーダーライン上にあるポジティブな結果の 2~3 は、それらの実験での

磁界の配置や強度での磁界曝露が、げっ歯類動物のがんの発生を増加させると結論するには不十分であるということであった。二つの長期間の生物検定法は発がん性の反応を示さなかったが、ひとつの生物検定では、ある種類の一方の性である腫瘍部位にあいまいな反応が示された。乳がんの多段階発がんの実験モデルで、実験の集合の結果は、化学的に誘発した乳がんの EMF のプロモート効果への納得できる証拠は与えなかった。もうひとつの共通な試験モデルでは、磁界曝露の皮膚がんへの影響はなかった。EMF は様々な研究でマウスやラットの白血病やリンパ腫を引き起こさなかった。

#### 5. 1. 3 評価を支持するメカニズムと in-vitro の証拠

メカニズムのデータが報告された毒性学結果を支持するのに適当であるとき、IARC ガイドラインで、「弱」、「中」、あるいは「強」と分類できる。投票した WG の全員 (27 人) は、 $100\mu\text{T}$  より高い強度で、有毒性要因の作用を反映すると一般に見なされるエンドポイントで、in vitro の機能的にもっともらしい ELF-EMF の影響について中程度の証拠を与えている良くできた限られた数の研究があると結論した。投票した WG のメンバー全員 (26 人) は in vitro の証拠と物理的メカニズムの情報はおよそ  $100\mu\text{T}$  以下の強度の磁界の影響への弱い支持を与えていると結論した。

最近 (1996-98 年) の研究のシリーズは、磁界曝露が遺伝子突然変異を誘発することを示している。 $100\mu\text{T}$  以下の磁束密度での ELF 磁界は、一貫して突然変異頻度への影響を示していないが、 $200-400000\mu\text{T}$  での磁界は、X 線あるいはがんマ線のイニシエーション後、再現的に有意に突然変異頻度を高める。さらに  $400000\mu\text{T}$  の曝露は二つのヒトの細胞系で電離放射線なしに突然変異の数が增加することが示された。従って、多数の

自己矛盾のない報告が、発がんとに共通して関連していると考えられるプロセスやエンドポイントにおいて、曝露量依存的な効果を示している。大切なことに、これらの研究の全て ( $>100\mu\text{T}$ ) において使用している磁束密度は、ひとつの物理的な変換機構、特に磁気化学変換の範囲内である。 $100\mu\text{T}$  以上の磁束密度での磁気化学効果の可能性は、理論解析と生物化学的試験の両方でしっかりと確立されたものである。

多数の良くできた研究は、有意な細胞増殖の増加、シグナル伝達経路の混乱、分化の抑制を含め、共通して発がん性と関連している他のエンドポイントにおいて、強い影響を示しており、これらの全ての影響は  $100\mu\text{T}$  を超える強度で起こっている。遺伝子突然変異の研究のように、これらの調査はまた、磁気化学変換が磁界-細胞変換のもっともらしいメカニズムである十分な高い（磁界）強度で実施されている。[例え、これが他の相互作用の機能を不全にしないとしても。]

#### 5. 1. 4 考察

ELF-EMF をグループ 2B に分類するという決定を支持する証拠が、居住環境における小児白血病と職業環境における成人の CLL（慢性リンパ性白血病）の研究結果から導かれたということには、ほとんど疑いが無い。成人における CLL に限られた証拠が見られたという事実を小児の白血病における発見を支持するものとみなして解釈すべきではない。小児白血病と成人の CLL は、異なって分類される、非常に異なる病気なのである。居住環境の研究における成人の CLL への影響の証拠の不十分さもまた、職業曝露の研究における発見に反論することを支持しない。in vitro とメカニズムのデータは、精々、ELF-EMF はヒトに対して発がん性の可能性があるという結論を中程度に支持している。 $100\mu\text{T}$  を超える強度の ELF 磁界が in vitro での影響を中軽度に支持すると結

論された一方で、小児の居住曝露や成人の職業曝露の研究の曝露範囲の殆どをカバーするこの限界値を下回る強度では、影響の証拠はほとんどなかった。職業曝露の研究では、電界への曝露にねらいを定めたようなものは殆ど無かった。最後に、げっ歯類における発がん性の長期の生物学的評価による不十分な証拠は、それらの研究において何かミスがあったとか、十分に導かれなかった研究においてポジティブな影響に向かわせる傾向があるとかといった全体的な懸念よりも、二つの別々に行われた研究におけるひとつの発見事項に関する消すことのできない懸念から導かれたものである。

### 5. 2 がん以外の健康への影響

#### 5. 2. 1 がん以外の健康への悪影響

どの ELF-EMF の曝露後の健康へ悪影響を示す証拠も、（ヒトへの）「不適切な」あるいは（実験動物に対して）「弱い」を超えるような証拠の程度とはならなかった。ヒトに関して評価されたエンドポイントは、母親の曝露による出産への悪影響、父親の曝露による生殖への悪影響、アルツハイマー病、側索硬化性筋萎縮症や他の運動神経疾患、自殺や鬱病、心臓血管系疾患である。

母親の ELF-EMF の職業曝露が出産への悪影響の原因となることは、不適切な証拠がある。この結論は、22 人の WG のメンバーにより支持され、2 人が「原因とならない」に投票し、1 人が棄権し、4 人が欠席した。

父親の ELF-EMF の職業曝露が生殖への影響の原因となることは、不適切な証拠がある。この結論は、20 人の WG のメンバーにより支持され、3 人が「原因とならない」に投票し、二人が棄権し、4 人が欠席した。

ELF-EMF の職業曝露がアルツハイマー病への影響の原因となることには、不適切な証拠がある。

この結論は、23 人の WG のメンバーにより支持され、1 人が「原因とならない」に投票し、1 人が棄権し、4 人が欠席した。

ELF-EMF の職業曝露が側索硬化性筋萎縮症への影響の原因となることには、不適切な証拠であった。この結論は、24 人の WG のメンバーにより支持され、1 人が棄権し、4 人が欠席した。

ELF EMF の職業曝露が自殺や鬱病への影響の原因となることには、不適切な証拠がある。この結論は、17 人の WG のメンバーにより支持され、6 人が「原因とならない」に投票し、2 人が棄権し、4 人が欠席した。

ELF-EMF の職業曝露が心臓血管系疾患への影響の原因となることには、不適切な証拠がある。この結論は、24 人の WG のメンバーにより支持され、1 人が棄権し、4 人が欠席した。

ELF-EMF の曝露環境が妊娠へ悪影響を及ぼすことあるいは鬱病と関連性があることには、不適切な証拠がある。この結論は、23 人の WG のメンバーにより支持され、1 人が「原因とならない」に投票し、1 人が棄権し、4 人が欠席した。

実験動物において、ELF-EMF の免疫機能への影響があるという証拠はない。この結論は、13 人の WG のメンバーにより支持され、6 人が「弱い」に投票し、1 人が棄権し、9 人が欠席した。

商用周波数 EMF の曝露が、げっ歯類の血液パラメータに影響を与えるという証拠はない。この結論は、17 人の WG のメンバーにより支持され、1 人が棄権し、11 人が欠席した。

実験動物において、電磁界の神経行動学的、神経薬理学的、神経生理学的、神経化学的影響については、弱い証拠がある。この結論は、9 人の WG のメンバーにより支持され、8 人が「中程度」に投票し、3 人が棄権し、9 人が欠席した。

実験動物において、正弦波の磁界曝露の生殖あるいは発育への影響があるという証拠はない。こ

の結論は、17 人の WG のメンバーにより支持され、3 人が「弱い」に投票し、8 人が棄権し、1 人が欠席した。

電磁界環境の複雑さのため、疫学あるいは他の生物学的研究の調査は、検討対象の疾病に関連する特定の、決定的な ELF-EMF への曝露条件の正確な評価を許し得なかった。

## 5. 2. 2 その他の生物学的影響

WG の多数 (19 人中の 14 人) は、電磁界曝露が骨の修復と順応に影響を与える明らかな証拠から、電磁界の生物学的な影響の存在を認めた。残りの 5 人は普通の証拠と判断した。パルス EMF の曝露が初期の骨治癒過程において効果的であることは、蓄積された数多くの臨床結果から明らかである。骨折と脊椎固定の二つの研究において、強い効果を示している。この二つの研究においては、定量的な分析は十分ではなかったが、それらの研究は整形外科の分野で、予期的に、無作為抽出で、二重盲検法で行われたものであった。これを裏付けるものは、おそらく手足が伸びるときの骨組織の反応であろう。二次的な骨治療については電磁界曝露の効果は見られないが、骨吸収の抑制や新しい骨形成の証拠が見られた。動物を用いた *in vivo* の研究では限定された有効性を示したにすぎない。磁気治療は、骨折の治療、傷の内部への骨の内部成長、骨の伸張、あるいは移植治療の効果を高めることはないが、少なくともひとつの場合 (内部成長) については、普通の過程を抑制しているかもしれない。動物のからだ全体を電磁界に曝露した後の軟骨内骨化のモデルにおいて得られた結果は、磁界治療が効果的であるかもしれないということを示している。逆に、動物への磁界は表面の骨成長過程と骨吸収の抑制に関し強い、再生可能な効果を示している。

WG は、電磁界の曝露が、脊椎動物において神

経や腓骨の結合組織の修復や順応に影響を及ぼすかどうかについて結論を出すことはできなかった。この結論は（投票では）WG の 12 人のメンバーが棄権し、10 人が「普通の証拠」、6 人が「弱い証拠」、また 1 人が欠席という投票から支持された。

短時間の ELF-EMF 曝露が人の心拍数変動に影響を与えるという弱い証拠がある。この結論は（投票では）WG の 13 人のメンバーに支持され、1 人が「弱い証拠」、2 人が「証拠なし」、8 人が棄権、また 5 人が欠席であった。

短時間の ELF-EMF 曝露が人の睡眠に外乱を与えるという弱い証拠がある。この結論は、（投票では）WG の 15 人のメンバーに支持され、9 人が棄権、5 人が欠席であった。

短時間の ELF-EMF 曝露がメラトニンの抑制を引き起こすという弱い証拠がある。この結論は（投票では）WG の 16 人のメンバーによって支持され、1 人が「普通の証拠」、2 人が「証拠なし」、5 人が棄権、5 人が欠席であった。

電磁界の曝露が研究室における生物学的なエンドポイント研究において、その他の影響を示すという証拠はない。この結論は、（投票では）WG の 12 人のメンバーによって支持され、2 人が「弱い証拠」、11 人が棄権、5 人が欠席であった。この投票は議長により無効とされた。

電磁界への曝露がげっ歯類においてメラトニンの分泌レベルを変えろという弱い証拠がある。この結論は（投票では）WG の 14 人のメンバーにより支持され、9 人が「普通の証拠」、4 人が棄権、2 人が欠席であった。

電磁界への曝露が羊やヒヒにおいてメラトニンの分泌レベルを変えろという証拠はない。この結論は（投票では）WG の 14 人のメンバーにより支持され、13 人の棄権、2 人の欠席であった。

ELF-EMF の曝露が動物実験において、血液シ

ステムに影響を与えるという証拠はない。この結論は WG の（投票では）17 人のメンバーに支持され、17 人の棄権、11 人の欠席であった。

電界が感知されることについて強い証拠がある。この結論は（投票では）WG の 18 人のメンバーにより支持され、2 人の棄権、9 人の欠席であった。

### 5.3 全体評価

WG メンバーの多数は、居住環境における磁界曝露が小児白血病のリスクを増加させることと、職業的な磁界曝露が CLL（慢性白血病）の発生を増加させるという限られた証拠に基づき、ELF-EMF を「発がん性があるかもしれない」（グループ 2B）に分類することが、安全側な公衆衛生的な判断であると結論した。これらのがんに対し、in vivo（動物）in vitro（細胞）研究結果やメカニズム研究は、疫学研究の結果を確認するものでも、反論するものでもない。証拠の全体が、生物学的な影響、メカニズム、そして発がんの可能性に関係するかもしれない曝露環境、さらに ELF-EMF 曝露による人の健康への悪影響などについての我々の理解を押し進める根拠を与えた。