

在外大使館の米国政府職員とその家族における病気の評価  
在外大使館の米国政府職員とその家族における説明できない健康影響についての  
国務省への助言のための常設委員会  
全米科学工学医学アカデミーズ コンセンサス調査報告書

目次

頭字語と略語[略]

前書き[略]

[要約](#)

第 1 章 委員会の紹介および責任範囲[略]

第 2 章 方法およびデータ[略]

第 3 章 臨床的特徴[略]

[第 4 章 もっともらしいメカニズム](#)[電磁波に関する部分のみ]

第 5 章 急性期治療とリハビリテーション[略]

第 6 章 将来へ課題および推奨事項[略]

付録

A 委員会の経歴[略]

B 会議の議事次第[略]

[C 指向性無線周波エネルギーについての追加コメント](#)

D 環境化学物質[略]

## 要約

2016年にキューバのハバナにある米国大使館の職員が、一連の異常な症状および臨床的徴候の発症を報告し始めた。これらの患者の一部では、方向性のある特徴を有すると感じられる、大きな騒音の突然の発生に始まり、片側または両側の耳の内部での、あるいは頭部の広範な領域にわたる痛みを伴い、場合によっては頭を圧迫される、または揺さ振られる感覚、めまいの感覚、その後の耳鳴り、視覚障害、空間識失調、認知障害を伴うこともあった。その翌年から、中国の広州にある米国領事館に所属していた別の職員も、様々な程度と同様の症状および徴候を報告した。2020年6月時点で、職員の多くはそれらの、および／またはそれら以外の健康問題に苦しめられ続けている。これらの臨床的症例を説明するため、複数の仮説およびメカニズムが提唱されたが、証拠は不足したままで、いずれの仮説も証明されておらず、状況は依然として不明である。国務省は、政府職員に対して海外のポストでの健康リスクについての情報をより効果的に提供するための取り組みの一環として、それらの病気の潜在的原因を確認し、短期的および長期的な健康問題の両方に対するスクリーニング、未然防止、治療のための最善の医学的措置を決定するため、全米科学工学医学アカデミーに独立した専門家ガイダンスを提示するよう要請した。

「在外大使館の米国政府職員とその家族における説明できない健康影響についての国務省への助言のための常設委員会」は、これらの臨床的症例の評価において、急性症状のみ、慢性症状のみ、またはその両方の人々を含める際に、個人レベルの健康およびその他の情報にアクセスできなかったこと、臨床的特徴が時間とともに進化・変化すること、臨床的徴候および徴候のタイミングの点で対象集団が非常に一様でないことといった、複数の難題に直面した。しかしながら、当委員会は、独特の臨床的特徴を同定し、可能性のある原因を検討し、もっともらしいメカニズムおよびリハビリテーションの取り組みを評価し、将来の計画および対応のための推奨事項を提示することができた。

## 臨床的特徴

病気の発症時、一部の人々には明確な一連の異常な臨床症状が突然発生し、中には慢性化し、衰弱させられる者もいたが、全員がそうなったわけではなかった。その病気の最も独特な臨床的側面は、発症の性質と初期の特徴であった：これには、大きな音が突然聞こえる、頭の中を強く圧迫される、または揺さ振られる感覚、耳の中、更に広くは頭の中での痛み、がある。大半の人々は、そうした音またはその他の感覚は特定の方向からやってくるようであり、当人が特定の物理的位置にいる時にもみ感じられる、と報告した。一部には、耳鳴り、難聴、めまい、歩行のふらつき、視覚障害の突然の発症の報告もあった。神経学的観点から、この明確な、急性の、聴覚前庭症状の組合せは、迷路または第8脳神経あるいはその脳幹接続に局在する影響を示唆している。

影響を受けた人々の多くが苦しめられている慢性症状は、前庭処理および認知、ならびに不眠症および頭痛に問題があることを示唆していた；これらの症状は、大脳皮質または大脳辺縁系構造といった、前脳構造および機能の幅広い関与とより整合する。但し、実験室ベースの前庭機能の試験からは脳傷害の一貫した像は得られていない。これらの後発的な、より持続的な症状は、同じ最初の損傷の後障害によって生じた、あるいは、適応反応として二次的に生じた可能性がある。急性の初期段階を報告しなかった人々については、症状は個別の原因から生じたか、または同様のばく露がより排他的に前脳の機能障害をもたらした可能性がある。

### もっともらしいメカニズム

当委員会は、国務省職員によって報告された急性の、方向性のある、または場所に固有の初期段階の徴候、症状および観察の異常な表出は、指向性パルス化無線周波（RF）エネルギーの影響と整合することを見出した。これらの慢性の非特異的の症状の多くは、めまい、頭痛、けん怠感、吐き気、不安感、認知障害、記憶障害といった、既知の RF の影響とも整合する。患者の臨床的非一様性は、ばく露量条件のばらつき、生理学的ではない前庭刺激の解釈における差異、ならびに人々のばく露および／または反応に影響力を及ぼし得る解剖学的な差異によるものである可能性がある。

当委員会は、潜在的原因または悪化因子として、化学物質ばく露、感染症および心理学的問題も検討した。一部の報告は、ハバナでの殺虫剤散布による有機リン酸塩（OP）および／またはピレスロイドへのばく露が原因または寄与因子である可能性を示唆していたが、急性の高レベルばく露の説得力のある証拠がなかったことと、影響を受けた米国大使館職員の臨床歴は急性 OP 中毒と整合しなかったことから、当委員会は、このメカニズムの可能性は低いと結論付けた。但し、殺虫剤は各種の物理的または心理学的ストレス要因へのばく露後の悪性の結果のリスクまたは重症度を高め得ることから、当委員会は、亜急性または慢性の OP および／またはピレスロイドばく露が、非特異的な慢性症状への寄与因子である可能性を排除できない。

米国大使館の症例発生時にキューバで流行していて、神経学的結果を生じ得る感染性因子として最も顕著なものには、キューバで 2016-2017 年に流行したジカウィルスがある。但し、医学および公衆衛生文献のレビュー後、当委員会は、ジカウィルスが国務省職員に報告された一連の徴候および症状の原因であったという可能性は非常に低い、ということを見出した。

これらの急性の、初期の、突然発症した、明確な、異常な症状および徴候を、心理学的および社会的要因に帰結させることは困難である。但し、国務省職員に影響を及ぼしている病気のばらつきが大きく、臨床的に一様でないことから、心理学的および社会学的要因を含む複数の原因となる要因が関与している可能性が残されている。これらの要因は他の病気の原因を悪化させる可能性があり、特に一部の慢性症状、または一部の症例における病気の進行の後期への寄与を排除できない。最後に、当委員会は、機能的な（精神医学的ではない）前庭障害で、前庭、神経学的、その他の医学的または心理学的条件が引き金となることがあり、一部の患者に

おける慢性の徴候または症状を説明し得る、持続性知覚性姿勢誘発めまい（PPPD）の診断に同意した。

全体として、これらの症例を説明する上で当委員会が検討したメカニズムの中で、指向性パルス化 RF エネルギーが、特に明確な初期症状のある人々において一番もっともらしいメカニズムのようであり、加えて二次的な補強メカニズムとして PPPD、ならびに可能性のある追加的影響として心理学的状態がある。当委員会は、その他の可能性のあるメカニズムを排除できず、要因の多様性が一部の症例および他の症例との相違を説明する可能性がある、と見なしている。特に、当委員会は、一連の慢性的徴候および症状のみを呈する人々が、初期の、突然発症した一連の徴候および症状を報告した人々と同じ原因および病因論的メカニズムに苦しんでいる、ということについては確信が持てなかった。

### リハビリテーション

当委員会は、慢性神経学的状態のリハビリテーションのため、早期の評価および治療、支援環境、および学際的アプローチを推奨する。患者個別の治療アプローチおよび対応についての情報がなかったら、当委員会が特定の神経学的リハビリテーションの代替案についての推奨事項を作成することは困難であった。慢性前庭症状を呈する人々に対しては、PPPD の診断が、リハビリテーション的介入のための潜在的な手段を提供する。

### 将来への準備

当委員会の任務の一部は、国務省職員とその家族の安寧に対する将来の脅威を見越して、助言を提示することであった。この目的において、当委員会は、将来の対応を強化するため、幾つかの推奨事項を提案する。

**推奨事項 1** 国務省は海外赴任前および赴任中の全ての職員からのベースラインおよび縦断的データ、ならびに生物学的検体の収集を拡大することが望ましい。

当委員会は、海外赴任する全ての国務省職員に対し、全血、血漿、および尿の採取、ならびに一般的な医学的および神経学的検査、地域の環境評価を含む、日常的なデータ収集が望ましいと信じる。後天性脳傷害ツール（ABIT）は、キューバで国務省職員に同定された同じ神経学的、前庭および聴覚症状の目録のために展開の前後に現在利用されている臨床的評価ツールの一つである。但し、将来の事象の特性が不明なので、これを改定し、キューバおよび中国で遭遇したもの以外の症状を含めることが賢明であろう。

**推奨事項 2** 国務省は、米国政府からの支援を受けて、将来において包括的で迅速な公衆衛生お

よび研究調査を可能にするための計画およびプロトコルを、今すぐ立案することが望ましく、新たな症例のクラスターの調査を是認することが望ましい。

当委員会は、次の潜在的な一連の症例に先立ち、対応能力を準備し、権限を与え、それによって、米国大使館職員の適切な公衆衛生調査のために必要な情報収集を、時宜を得た形で実施し、直ちに利用できるようにすることを推奨する。

**推奨事項 3** 可能性のある新たな症例のクラスターの同定後、国務省は効果的な調査に不可欠のデータの収集を確実にすることが望ましい。

当委員会は、国務省が、日常的な医学的データの収集についての助言を提示するため、第 6 章で述べた専門家パネルを利用することを提案する。個々の外交官に関するデータの収集に加えて、個人の健康状態についての時間的および地理的文脈を提示するため、追加的な公衆衛生および疫学的調査データの取得が不可欠である。

**推奨事項 3-A** 仮に研究または評価によって、無線周波 (RF) エネルギーが国務省職員の一部が経験した病気の原因である可能性が支持されたら、国務省は、将来ニーズが発生した場合、職員らに RF エネルギーへのばく露をリアルタイムで測定し、特徴付ける能力を訓練し、装備を与えることが望ましい。

**推奨事項 3-B** 国務省は、毒性学的診断のための系統的なアプローチ、およびこのアプローチを支援するプロトコルを開発することが望ましい。

**推奨事項 4** 国務省は、米国政府からの支援を受けて、公衆衛生上の緊急事態を同定し、必要とされる対応を促進するため、適切な人員を提供することが望ましい。

国務省は、民間の医療を排除しないが、それとは別個の方法で、影響を受けた人々の構造化された医学的調査を可能にする政策変更を検討することが望ましい。国立衛生研究所の災害研究対応 (DR2) プログラムが、公衆衛生上の緊急事態に対する調整されたシステム全体の研究対応の有益なモデルとなるであろう。加えて、大使館職員の健康への脅威を早期に同定できるようにするため、当委員会は、保健担当大使館員の役割を拡大することを提案する。

## 第4章 もっともらしいメカニズム

国務省職員に観察された現象には、複数の種類のメカニズムが寄与していた可能性がある。当委員会は、以前に見られた類似する発作的症状の発生、その似通った局地的な存在、他の調査員から入手できた情報、また最も注目すべきものである医学的影響の既知の集団（急性発症の神経学的知見を中心とする）に基づき、調査を4項目に絞り込んだ。第3章で論じたように、方向依存性のあるこれらの急性症状は非常に稀で、既知の感染性、炎症性、または毒性メカニズムのあるものを含めて、神経学的または一般的な医学文献で報告されている障害とは異なる。当委員会は、これらの急性症状は指向性無線周波(RF)エネルギー攻撃とより整合すると感じ、可能性のある関連メカニズムを探求した。同時に、報告された慢性症状しばしば、化学物質ばく露、感染症、または敵対的環境中のストレスの結果として生じる、頭部外傷後の患者に見られる。通常の状態の外傷性傷害の証拠はありそうになかったが、これらの慢性症状について、可能性のある化学物質および感染症による原因、ならびに心理社会的原因も評価した。

### 指向性無線周波エネルギー

#### 情報源

本委員会は、第3章（臨床的知見）で論じた急性および慢性の両方の臨床的徴候および症状の原因としての指向性 RF エネルギーばく露のもっともらしさを評価するため、発表済みの文献からのオープンソースのデータ、ならびに [2019年] 12月および [2020年] 2月の会合で個人的に共有された、臨床医、研究者、影響を受けた国務省職員からの直接の報告に依存した。当委員会は、電磁エネルギーの潜在的な治療および緩和応用（例：医療用放射線治療）(Citrin, 2017; Mohan et al., 2019; Saitz et al., 2019; Suh et al., 2020; Tsao et al., 2018)、ならびにマイクロ波放射（例：携帯電話放射）(FDA, 2020; NTP, 2018a,b) の健康リスクについての科学文献の重要な部分をレビューしたが、本節では主に、臨床的および（国務省の患者による）個人的な観察 [に基づく報告] と整合する RF の生物学的影響に焦点を絞っている。

様々な RF ばく露（30 kHz から 300 GHz と定義、300 MHz から 300 GHz のマイクロ波放射を含む）の既知の生物学的影響に関して、臨床医（発表済みの要約および経験を含む）および国務省職員からの観察 [に基づく報告] を検討した。当委員会は、これらの職員および臨床医の観察 [に基づく報告] を用いて、国務省職員の徴候および症状の説明において検討に含めるべき、または検討から除外すべき既知の RF の生物学的影響を同定した。

#### 評価および知見

低レベル RF ばく露は一般的に、有意な加熱のための閾値に満たないエネルギーを吸収させる（しばしば「非熱」作用と呼ばれる）が、高レベルの RF ばく露は有意な加熱（「熱」作用）、更には火傷のための、また神経および筋組織の刺激（「ショック」作用）(IEEE, 2019) のため

の十分なエネルギーを与え得る。RF の生物学的影響についての一般公衆の議論の多くはがん  
に焦点を当ててきたが、加熱に関連したものに加えて、がん以外の様々な影響を示すデータも  
増加している。

これらの情報源のレビューに基づき、当委員会は、国務省職員によって報告された初期段階  
の急性症状および観察の多くは、RF の影響と整合することを見出した。これには、耳を塞いで  
いても頭の中でのカチカチという音の知覚、頭の中や顔面での力／圧力の知覚、こうした認知  
上の現象およびその他の大きな騒音の局在および方向性、難聴、耳鳴り、歩行障害および平衡  
感覚の喪失、ならびに音感の欠如および身近な環境で電子機器の故障が観察されないこと、が  
含まれる。加えて、これらの慢性の非特異的症状の多くは、めまい、頭痛、けん怠感、吐き気、  
不安感、認知障害、および記憶障害といった、既知の RF の影響とも整合する。

特定の観察された現象がないことも、潜在的な RF 発生源の特徴に対する制約になっている。  
例えば、温感または体内の熱的損傷の報告がないことから、特定の種類の高レベル RF エネル  
ギーは排除されるであろう。

非熱的な RF の生物学的影響については複数のメカニズムが存在し得る。これには、アポト  
ーシスや細胞の酸化ストレスが含まれる (Barnes and Greenebaum, 2018; Ilhan et al., 2004;  
Salford et al., 2003; Steiner and Ulrich, 1989; Zhao et al., 2007)。RF による非熱的な細胞膜  
の機能不全 (Ramundo-Orlando, 2010) は、1 GHz 超のコヒーレントな刺激 (Fröhlich, 1988)  
からの様々な影響によって生じ得る。これには、電気穿孔、代謝変化、圧力のゆらぎ、電位依  
存性カルシウムチャネルの破綻 (Pall, 2013, 2016) が含まれる。但し、国務省職員に観察され  
た認知、前庭および聴覚への影響の多くは、変調またはパルス化 RF の生物学的影響と最も整  
合する。

ロシア／ソビエト連邦においては、連続波ではなくパルス化 RF ばく露の影響について多く  
の研究が実施された。これは、時間平均強度が同じでも、パルス化と連続波の RF エネルギー  
への反応は大幅に異なる結果を生じるためである (Pakhomov and Murphy, 2000)。Pakhomov  
および Murphy によれば、ロシア語の研究では「パルス化は低強度の RF 放射の生物学的影響  
を決定する重要な要因の一つ (あるいは最も重要な要因) かもしれないことを示した」

(Pakhomov and Murphy, 2000)。非熱的なマイクロ波放射にばく露された (ユーラシアの共  
産主義国の) 軍人は、2.05-2.50 GHz の範囲の周波数に対し、頭痛、けん怠感、めまい、神経  
過敏、不眠、うつ病、不安、記憶障害、集中力の欠如、ならびに頭の中での音の知覚を経験し  
たと言われている (Adams and Williams, 1976)。Pakhomov および Murphy によるレビュー  
は、旧ソ連からの研究の多くには 1 つかそれ以上の欠点があったが、中には良好に実施され、  
再現され、信頼できるものもあったとしている。

神経系に対するパルス化 RF の影響には、動物およびヒトの認知 (D'Andrea, 1999; Lai, 1994;  
Tan et al., 2017)、行動 (D'Andrea and Cobb, 1987)、前庭 (Lebovitz, 1973)、睡眠時脳波  
(Lustenberger et al., 2013)、聴覚 (Elder and Chou, 2003) 機能の変化が含まれるが、RF ば  
く露の特徴が多いこと (搬送周波数、パルス反復周波数、放射の向き、電力密度、ばく露の継

続時間)が、異なる実験の直接比較を複雑にしている (D'Andrea et al., 2003)。一部の動物研究では、同じばく露装置を用いた場合にさえ、相反する結果が示されている。例えば、ピーク電力は高いが比吸収率 (SAR) 値は低い RF エネルギーを発する変圧器給電メガボルトパルス化出力 (TEMPO) マイクロ波パルス装置を用いた研究者らは、ラットの認知機能に対する負の影響を見出した (時間知覚および識別課題) (Raslear et al., 1993) が、別の研究者らはアカゲザルにおいて何ら行動学的変化を見出さなかった (D'Andrea et al., 1989; Ziriak et al., 1999)。どちらの動物モデルに対する低 SAR 値も、行動学的パフォーマンスをかく乱することが知られている全身 SAR の閾値より低かった点に留意すべきである (D'Andrea, 1991; D'Andrea and de Lorge, 1990; de Lorge, 1984)。

Alan Frey は 1961 年、健聴者および聴覚障害者の両方において、RF による新たな聴覚現象を同定し (Frey, 1961)、これは「Frey 効果」として知られることになる。耳の近くの部位は、これらの RF ばく露に対して最も敏感である; RF エネルギーの変調は様々な影響を生じ得る。これには、0.4-3 GHz の RF 周波数に対し、「頭をかき回される」あるいはめまいまたは吐き気を伴わない顔面/頭部を圧迫される感覚、「針で刺されるような感覚」、頭の中での「ブーブー、カチカチ、シューシュー、ドンドン」と表現される音の知覚が含まれ、パルス幅、パルス反復周波数 (PRF)、ピーク電力密度に依存する (Frey, 1962)。これらの報告された症状は、当委員会に提供された描写の一部と整合する。Frey はこれらの症状を、1.3 GHz (この周波数では皮質組織への吸収深度が最大となる)、PRF が 244 Hz、パルス幅が 6  $\mu$ s、ピーク電力密度が 267 mW/cm<sup>2</sup>、平均電力密度が 0.4 mW/cm<sup>2</sup> の RF 発生源とあわせて報告した (Frey, 1962)。これとは別に、一般的な材料と相互作用する GHz 範囲のパルス化 RF エネルギー (パルス幅が  $\sim$ 14  $\mu$ s) が、近くにいる人々が感じられる [人体の] 外部の音を生じ得ることが示されている (Sharp et al., 1974)。これは、RF エネルギーからの潜在的なスマートフォンのマイクロフォンの励起とも整合し、これは [人体の] 外部の、電話から聴こえるカチカチ音につながり得る。パルス化 RF 発生源が [人体の] 内部および外部の聴覚刺激を同時に生じる能力は、発表済みの報告および個人的な報告と一致する。重要なのは、Frey 効果は神経組織または内耳組織に同定可能な構造的傷害を生じることなく生じ得るという点である。

RF 発生源が Frey 効果と似た形で熱弾性圧力波を通じて前庭末端器官を刺激する (付録 C 参照)、または伝達を通じて中枢神経系の経路を興奮させる潜在的可能性は不明である。但し、仮にそのような効果が存在するならば、この異常な形の前庭刺激は非常に紛らわしい知覚につながり得る。つまり、中枢前庭経路はこの生理学的ではない末端器官の刺激のパターンを解消するために最善を尽くし、物理的に不可能な動作の知覚、それらに対する予期せぬ反射的姿勢反応、それらを生じる外力についての誤った推論を生じることになる。影響を受けた人々は、同じ外的刺激に対して異なる感覚を報告した可能性がある; よって、影響を受けた人々の知覚についての初期段階の報告が様々で、表現することが困難であったかもしれないというのは、このシナリオと整合する。前庭系および平衡系に関しては、持続性知覚性姿勢誘発めまい (PPPD) の機能性前庭障害は、たとえ一時的なものであっても、また構造的傷害を生じなくとも、空間

識失調、不安定感、またはめまいの症状を生じる、あるいは平衡機能を乱すような何らかの状態が引き金となることがある (Staab et al. 2017)。NIH [米国立衛生研究所] のチームは、彼らが評価した患者の四分の一で PPPD を診断した。PPPD の患者は一般的に、不安定感、めまいおよび運動刺激に対する感受性といった中核的な症状に加えて、認知およびけん怠感についての問題を報告する (Stone, 2016)。

仮に空間および動作情報の処理を司る中枢神経系の組織に対して Frey 効果のようなものが生じ得るならば、同様に特有の反応が生じる可能性がある。電磁的刺激からのより一般的な神経精神医学的影響は良く知られており、精神障害および神経障害の治療にますます多く利用されるようになってきている。食品医薬品局 (FDA) は 2008 年、抗うつ薬に反応しない成人の大うつ病の治療用に経頭蓋磁気刺激 (TMS) を承認した (Cook, 2018)。FDA は 10 年後、強迫性障害 (OCD) の治療としてのオフィスベース TMS (FDA, 2018)、および片頭痛の治療用のポータブル TMS (Jeffrey, 2013) を承認した。

治療用神経調節のための目的のある短期ばく露から得られる便益は、Stein および Udasin (2020) が要約しているような、電磁界 (例：高压送電ケーブル) に長期間ばく露された人々が描写する有害な神経学的および神経精神医学的症状 (Pall, 2016) とは対照的である。

### 要約

当委員会は、国務省職員によって報告された急性の、突発的な、初期段階の徴候、症状および観察の多くは、RF の影響と整合することを見出した。

加えて、これらの慢性の非特異的症状の多くは、めまい、頭痛、けん怠感、吐き気、不安感、認知障害、記憶障害といった、既知の RF の影響とも整合する。RF エネルギー発生源がこれらの症状を生じるのに、全体的な構造的損傷を生じる必要はない。むしろ、RF 発生源は Frey 効果または潜在的な熱弾性圧力波によって、脳の機能に一時的な変化を生じることで、症状の引き金となり得る。

有益となり、これらの知見とその確かさのレベルの両方を改善し得る複数の種類のデータがある。連続波およびパルス化 RF 発生源の健康影響についての研究は複数あるが、国務省のシナリオに対して生じるかもしれない RF ばく露／ばく露量の特徴および生物学的影響についての公開文献におけるデータは不十分である。そうした生物学的影響の定量化には、RF ばく露およびばく露量の特徴 (周波数、パルス反復周波数、パルス幅、潜在的発生源と対象との間の入射角、ばく露の継続時間、反復ばく露の回数、その他) を有する特定の実験が必要となるが、その正当化は倫理的に困難であろう。そのようなデータがないので、特定の生物物理学的影響を、国務省職員によって報告された特定の医学的症状を説明し得る潜在的な RF ばく露形態、ならびに人々の特定の経験および時系列のばらつき範囲内に結びつけるのは困難である。患者の臨床的非一様性は、ばく露量条件のばらつき、生理学的ではない前庭刺激の解釈における差異、ならびに人々のばく露および／または反応に影響力を及ぼし得る解剖学的な差異によるものである可能性がある。

## 付録 C 指向性 RF エネルギーについての追加コメント

頭の中に Frey 効果による聴覚および圧力の感覚を生じさせるには、無線周波 (RF) モードから音響モードへのエネルギー変換に関与する 4 つの明確なステップがある。第一に、RF エネルギーは頭蓋骨に浸透し、神経組織のインピーダンスマッチングおよび吸収の関数として神経組織と結合する。その浸透深さは 915 MHz から 2.45 GHz の周波数に対して 2-4 cm である (Brace, 2010)。この結合は、順番に、温度変化の急激な振動を生じさせ、これは局所組織の急激な、体積熱膨張および収縮につながる (即ち、熱エネルギーの上昇が原子の運動エネルギーの上昇を生じ、近傍の原子を押し、全ての方向に膨張または腫れを生じる)。この振動する組織の膨張および収縮は熱弾性圧力波を発する (Lin and Wang, 2007; Yitzhak et al., 2009)。仮に正しいパルス反復周波数で動作させた場合、熱弾性圧力波は頭蓋骨の共振周波数で蝸牛および前庭器官に伝播し、これを興奮させ得る (Lenhardt, 2003; Yitzhak et al., 2014)。頭蓋内への収束は、入射 RF 放射の入射角に応じて可能である。部屋の中での局在性および強度の効果は、RF 発生源およびアンテナの慎重な設計による非線形ビート波効果を通じて達成し得る。但し、身近な住宅/オフィス環境中のその他の電子機器の電磁的故障がないことは、潜在的な RF システム設計を暗示する、RF エネルギーの上限を示唆している [訳注: 電子機器には影響しないが、人体には影響を与える RF エネルギーを生じさせるように設計されたシステムが用いられた可能性がある]。これらの影響の一部 (例: Frey 効果の聴覚) に関連する平均電力密度は非常に低く、高出力マイクロ波 (HPM) と似たような形で近傍の電子機器を故障させることはない (Hoad, 2007; Jinshi et al., 2008)。熱の知覚がないことから、暴徒鎮圧のために開発されたその他の非殺傷用 HPM システム (例: 国防総省の 95 GHz アクティブ・ダイナミカル・システムは、1/64 インチしか皮膚に浸透しないが、数秒以内に不快なレベルに皮膚を加熱する) (D'Andrea et al., 2008; DoD, 2020; Nelson et al., 2000) は除外される。

前庭末端器官ならびに空間および動作情報の処理を司る脳の領域が、回転または直線加速以外のエネルギー源によって興奮させられることがあるというのは良く知られている。[人体の] 外部の音波、電流および磁気刺激は、前庭誘発筋電位の発生 (音波)、前庭反応閾値の調査 (電流)、慢性めまいの新たな治療法 (経頭蓋磁気および電気刺激) といった、神経耳科学および前庭研究における診断、実験、および治療目的で用いられている (Cha et al., 2013)。臨床的観察も、前庭障害 (例: メニエール病) を呈する特定の患者は、前線の急速な動きに伴う気圧の急激な変化、あるいは飛行機または陸上交通機関で旅行中の高度の変化に反応した、症状の悪化に対して敏感かもしれない、ということを示唆している (Gürkov et al., 2016)。但し、RF 発生源が Frey 効果と似た形で熱弾性圧力波を通じて前庭末端器官を刺激する、または伝達を通じて中枢神経系の経路を興奮させる潜在的な可能性は不明である。仮にそのような効果が存在するならば、その潜在的な症状について幾つか観察されるかもしれない。熱弾性圧力波は無指向性となるので、生理学的ではない形で前庭末端器官を刺激することになる。この異常な形の前庭刺激は非常に紛らわしい知覚につながり得る。つまり、中枢前庭経路はこの生理学的では

ない末端器官の刺激のパターンを解消するために最善を尽くし、物理的に不可能な動作の知覚、それらに対する予期せぬ反射的姿勢反応、それらを生じる外力についての誤った推論を生じることになる。影響を受けた人々は、同じ外的刺激に対して異なる感覚を報告した可能性がある；よって、影響を受けた人々のその場での報告は事実と一致するわけではないかもしれず、感覚は一人ひとりで異なるかもしれない。仮に空間および動作情報の処理を司る中枢神経系の組織に対して Frey 効果のようなものが生じ得るならば、同様に特有の反応が生じる可能性がある。

[部分訳について]

この報告書の部分訳は、全米科学工学医学アカデミーから正式な承認を得て、電磁界情報センターが原文（英文）にできるだけ忠実に作成いたしました。部分訳に関する文責は電磁界情報センターにあります。文意は原文（英文）が優先されますので、部分訳における不明な箇所等につきましては原文（英文）でご確認下さい。

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2020. An Assessment of Illness in U.S. Government Employees and Their Families at Overseas Embassies. <https://doi.org/10.17226/25889>. Reproduced with permission from the National Academy of Sciences, Courtesy of the National Academies Press, Washington, D.C.

(2020年12月)