

航空宇宙医学

かつては『Journal of Aviation Medicine』 ルイッシュが創刊 ルイシュ・バウエプ医師が
創設 航空宇宙医学会の公式出版物

低周波および低周波ノイズが人間に与える影響¹

ジョージ・C・モーア大佐(米空軍)、ジョン・N・コール学士、エリザセス・ギルド中佐
(米空軍)、ヘニウグ・E・フォン・ギエルケ博士(工学博士)。

将来の有人宇宙システムは、より大きなペイロードとより強力なブースターを備え、打ち上げ作業中に最大エネルギーが 1~100 cps(Hz)の範囲で発生する騒音環境を発生させます。このような環境に対する人間の耐性を調べるため、騒音経験のある 5 人の警官が 2 分間、高強度の広帯域、狭帯域、純音低周波の騒音にさらされました。これらの曝露が心拍リズム、聴覚閾値、視力、微細運動制御、空間的方向感覚、発話明瞭度および主観的耐性に与える影響が観察されました。1~100 cps(Hz)の範囲で最大 154 dB の露光が得られ、人間の低周波曝露範囲は、従来の記録された経験より 20dB から 40dB に拡大されました。被験者の客観的および主観的な回答の両方から、最大 150 dB までの低周波ノイズへの短時間曝露は人間の許容範囲内であることが示されました。150 dB 以上の曝露では、主観的な許容範囲と信頼性の限界範囲に近づいていることを示す反応が引き出されました。

航空宇宙システムによって生成される音響環境は、現在または開発中であり、これまでに遭遇したどの低周波帯よりも厳しいものとなるでしょう。ブースター推進流と周囲の大気が乱流的に混合することで生じる非常に低周波ノイズ(1~100 cps(Hz))のレベルは、ブースターのサイズと推力が増加するにつれて一般的に増加します。将来の超大型スーパーブースター(例:ノヴァ)は、最小波域(20 cps(Hz)未満)で最大の騒音エネルギーを発生させると推定されています。1 飛行機が発射台を加速する際、この騒音源は周囲のコミュニティに広がりますが、乗員区画内では急速に減少します。しかし、対気速度が上がるにつれて、乗員区画は境界層の乱気流によって発生する空力騒音を受け取ります。この境界層

¹ この研究は NASA 防衛 PR T-22031-G のもとで部分的に支援されています。

本論文で報告された研究は、オハイオ州ライトパターソン空軍基地の空軍システム司令部航空宇宙医療部門航空宇宙医学研究所の後援を受けました。この論文は AMRL 技術報告書番号として識別されています。AMRL-TR-65-69。さらなる複製は、米国政府のニーズを満たすために許可されています

ノイズは、車両が最大動圧(最大 q)の範囲を通過すると最大レベルに達し、その後徐々に減少します。離陸から約 2 分以内に騒音源としてはほとんど影響を受けません。空力ノイズも車両が大きくなるにつれて低周波でレベルとピークが増加します。アポロサイズ以上のカプセルでは、最大 Q でのノイズは 100 cps(Hz)を大きく下回ります。

航空宇宙システムによって発生する非常に低周波のノイズは、十分な基準や制御措置が利用されている周波数帯域で、音響エネルギーによるものを超える問題を引き起こすほどのレベルにはまだ達していません。おそらく、現在および近い世代のシステムの運用においてはそうではないでしょう。しかし、このような騒音環境における人間の許容度や性能の上限は不明です。低音速および低周波ノイズがますます高レベルに発生することがほぼ確実であることを踏まえ、これらの限界を定義することが不可欠です。静的試験や打ち上げ施設の設置(高価な不動産が大きな懸念となる)、宇宙カプセルの詳細な設計(音響遮断材が増えるごとに貴重なペイロードが失われる)、宇宙飛行士に必要な防護装備の開発(着用性が最重要)に関わる長いリードタイムは、人体被曝の明確な基準を早期に確立する必要があります。

この分野の研究の必要性は 1961 年春に緊急化しました。現在の著者のうち 2 名が、月への打ち上げ地点を推奨する米空軍・NASA 合同委員会のメンバーを務めたためです。1 音響的危険が設置場所の大きな考慮事項であることがすぐに明らかになり、地上および飛行要員の両方が低周波の騒音にますます高レベルにさらされることになりました。運用経験が得られた音響環境を記述する文献や記録のレビューにより、低音波および低周波ノイズフィールドに対する人間の反応基準を定めるための情報が乏しいことが明らかになりました。

実験室では、被曝は耳だけに限定されていました。人間の耳が知覚できる最低音を決定しようとする多くの研究者は、耳を 5 cps(Hz)という比較的低い音響エネルギーに結合させる方法を考案しました。ウェーバーとブレイは 1936 年頃にこれらの研究をレビューし、5 cps(Hz)から 60 cps(Hz)までのトーンを約 104 dB までのレベルで提示した結果を報告しました。* さまざまな聴覚現象に加え、被験者の中には 15~17 cps(Hz)の刺激にさらされた際に「軽いめまい、吐き気、不安感」を報告する者もいました。フォン・ベケシーは 1936 年~、ヨン・ギエルケらは 1953 年に耳のみを純音にさらし、痛みの閾値を静圧で約 179 dB、3 cps(Hz)で約 165 dB、15 から 100 cps(Hz)を大きく超える範囲まで変わると確立しました。フォン・ベケシーは非聴覚的影響についてはコメントしませんでした。1953 年の研究でノイズ体験した被験者たちは、30 cps(Hz)以下の音に曝露しても、痛みを引き起こす音圧レベルでも平衡感覚の乱れや吐き気を観察しませんでした。

全身に強い低周波ノイズにさらされた唯一の記録された経験は、作戦環境でのものでした。両世界大戦において、ドイツ潜水艦ディーゼル室の乗組員に見られる中耳の変化は、エンジンシリンダーの吸引ストロークによる低周波および非常に低い音響場に起因するとされていました。第二次大戦のシュノーケルは約 1 cps(Hz)のリズム圧力変化を重ね

合わせており、これが中耳の病理の発生率と重症度を高めているように見えました。著者たちの知る限り、ドイツ潜水艦で勤務する外科医の観察は、全身の低周波被曝による運用上の問題の最初の報告を示しています。

大型プロペラによって発生する音響エネルギーは、しばしば 40 cps(Hz)から 100 cps の範囲で最も強くなります。大型ターボジェットおよびロケットエンジンの排気騒音は、20~100 cps(Hz)の範囲で 130 dB を大きく超え、整備要員が数分間作業をしなければならぬ場合には 100 dB をやや超え、5 cps(Hz)まで低くまで達します。⁶ これらのノイズフィールドへの初期曝露時には、多くの人が全身性ストレス反応に典型的な症状を示します。これは、十分に効果的な耳当てが開発・普及する前の時代に特に顕著でした。しかし、経験と防護具を身につけることで、人は全身に感じる不快な感覚を無視し、目の前の作業に集中できるようになります。適切な耳の保護具が適切に使われている限り、結果として残るのは、身体的・精神的な努力に見合う程度以上の疲労だけです。これらのノイズ環境は 100 cps(Hz)を超える非常に高い周波数帯域のレベルも含むため、スペクトルの低周波部分にのみ関連する応答の分解は不可能です。また、この範囲のレベルは将来予想されるほど高くありません。非常に低い周波数帯域に限定された強烈な騒音に対する全身の制御された繰り返し曝露を可能にする施設が求められていることは明白でした。

このニーズに応えるため、航空宇宙医療研究所は望ましい刺激を提供するチャンバーの設計研究を開始しました。現在開発中の動圧チャンバーはその結果です。完成予定日(現在は 1965 年夏と見積もり)が避けられない遅れにより、現世代の航空宇宙システムに必要な情報を確実に得るために、他地域で可能な経験を積む必要性が高まりました。この目的のために、1963 年半ばから、すでに利用可能だったか利用可能になった 5 つの施設を騒音源として研究が行われています。これまでの研究の説明と結果は以下のセクションで示されています。

騒音源の説明

サターン推進機の乗員区画で推定されるノイズスペクトルと同様のノイズスペクトルを再現できる 2 つの発生源(参考文献 6 および図 1 参照)が即座に利用可能でした。その一つが AMRL ハイインテンシティサウンドシステムで、14 キロワットの電磁気動スピーカーシステムで、5000 立方フィートの残響室に設置されていました。適切な電気信号入力でプログラムでき、形状や音圧レベルに近い広帯域スペクトルを生成できます。ホワイトノイズのオクターブ帯を 1 つずつ提示すると、乗員区画内の各帯の推定値より約 10dB 高いレベルが得られます。図 1 に示されたテスト 1 および 2 のノイズフィールドはこのシステムによって生成されました。

すぐに利用可能となった 2 つ目のソースはターボジェットエンジンで、エンジンのいわゆる近音場の特定の場所で望ましい試験スペクトルの非常にリアルなシミュレーションを生成します。利用可能なエンジンの中で、アフターバーナー付きの J57 は、最大動圧条

件下でサターンブースト搭載の乗員区画で推定される形状に最も近いスペクトルを生み出しました。エンジンがアフターバーナーで動作すると、排気から約 50 フィート下流、中心線から 25 フィート離れた位置でのノイズスペクトルは望ましい形状となり、カプセルで予想される最大音量より平均約 15dB 高いです。これらの試験で使用されたエンジンは F-102A 機に搭載されていました。スペクトルは図 1 の曲線「検定 3」に示されています。

すでに稼働していた 3 つ目の施設は、NASA ラングレー研究センターの 6×9 フィート熱構造トンネルでした。この施設では、大量の加圧加熱された空気を高速で喉を通して大きな円筒状のディフューザー管に流れ込みます。ブローダウン運転中は、運転条件に応じて 25 秒から 60 秒間、広範囲にわたって非常に強い広帯域ノイズ環境が発生します。生成されるノイズフィールドは 100~10,000 cps(Hz)の周波数で多くのエネルギーを含んでいますが、NASA-LRC 音響部門の調査では、2.5 cps(Hz)までの範囲のエネルギーも非常に高く、当時運用されていた他のどの広帯域源よりもはるかに高いことが示されました。スペクトルはジェットエンジンの排気音が変わると同じように位置によって変化します。低周波エネルギーは下流で優勢です。ディフューザーチューブの側面および後方の場所で風、熱、飛行物からの安全を確保する一連の検査を経て、この施設はここに報告されたテスト 4 から 8 までの一連の人体曝露試験に使用されました。被験者が曝露された複数のノイズスペクトルは図 2 のグラフに示されています。

NASA-ラングレー研究センターの低周波騒音施設は、宇宙機の部品を 1~50 cps(Hz)の範囲で非常に強いノイズにさらすために建設されており、人間の試験にも不可欠な安全機能を提供するよう改良されました。1964 年夏に完成すると、このシリーズの 4 番目のノイズソースとして使用されました。この施設は、直径 20 フィートの円筒形スチールチャンバーに収められた 14 フィートのダイヤフラムを備えた大型の油圧スピーカーシステムを採用しており、ランダムおよび純音ノイズフィールドの両方を生成しています

この周波数帯域内です。人間が曝露されたランダムノイズフィールドは図 3(テスト 9 から 14)に示され、純音曝露は図 4 でテストシリーズ 15 とラベル付けされた点で示されています。グラフから明らかなように、これは非常に低く低周波帯域に限定された非常に高レベルのノイズを提供した最初の施設でした。40 cps(Hz)の範囲に限定された激しいノイズフィールドでも経験を積むため、米空軍研究技術部門の音響疲労施設の最近完成した低周波サイレンチャンバーに人体曝露の安全性を確保するための改良が行われました。残念ながら、これらの対策には通常コンクリート製の長方形チャンバー内で停止しているガラス繊維のくさびの撤去が必要でした。その結果、純音信号の高調波歪みが望ましくない増加となりました。それでも、図 4 で示された最大露出(テストシリーズ 16)では、最高倍波は基本波のレベルより少なくとも 8dB 低いままでした。

手続きと結果

これらのテストの対象パネルには、騒音経験のある空軍士官 5 名(男女 4 名、女性 1 名、年齢 24 歳から 46 歳)が構成されました。ジェットエンジンへの曝露(試験 3)には、低気温のため厚手の衣服を着用しました。他の試験では、軽装を着用しました。標準的な空軍の耳当て(耳栓、イヤーマフ、またはその組み合わせ)は、ジェットエンジン(試験 3)、熱構造トンネル(試験 4-8)、RTD 低周波サイレン(試験シリーズ 16)への曝露中、聴覚器官を損傷する音圧レベルが非常に高かったため、常に着用されていました。AMRL 高強度騒音室(試験 1-2)および NASA-LRC 低周波騒音施設(試験 9-15)での曝露中、高周波成分のレベルが比較的 low だったため、ほとんどの被験者は裸耳での曝露を含む様々な防護の組み合わせを試しました。

各試験の露出時間は各 2 分以上望まれていましたが、試験 3(ジェットエンジン)の時間は地上の運転制限により 1 分に制限されました。熱構造トンネル騒音への曝露期間は、使用された条件下でのトンネルの吹き出し時間によって決定されました。ZL および 5 のテストでは露光時間は 60 秒でした。テスト 6 から 8 のテストでは、所長はわずか 25 秒でした。その他のテストは、提示された強度レベルごとに最低でも 2 分間続きました。

これらの試験で使用された騒音環境は曝露前に調査されていたにもかかわらず、曝露中の被曝地点での音響測定は FM チャンネルを通じて磁気テープに記録され、後の解析のために計画通りの騒音条件が確保されました。

聴覚の鋭度は、各曝露の前後に純音聴力計測で測定され、閾値シフトの発生を検出しました。耳鏡検査も行われました。各検査で主観的に評価され、適応かつ実行可能な場合は客観的に評価された。これらのパラメータには以下が含まれます:

一. 任意寛容:主観的なもののみ。

二. 視力

a. 主観的:文字盤や計器盤を読む能力。

b. 目的:25 文字のグリッドを用いて、それぞれが二次的なピボットベースに取り付けられ、360°回転を可能にする改良版スネレン E テスト。文字は 5 列の折り目付き文字サイズに並べられ、視力範囲 20/20 から 20/200 の範囲を含み、視界距離は 6 フィートでした。テスト 9 から 16 で使用されました。

三. 空間的向き

a. 主観的:片足立ちを行う能力 図 5。手の協調と過去点のテスト結果の例。ターゲットを通常の手書き距離に置いた状態で、被験者は上記のように円形の線を自由に描きます(目を開けたまま)。その後、彼は 10 回連続で的の中心点を点状に狙い、目を閉じて 1 回手を 18 インチ上げます。そして人差し指で鼻に触れること。

b. 目的:過去指向を検出するためのターゲット点点テスト(図 5 参照)、テスト 9-16 で用いられます。

四. 細かい指の器用

さ a. 主観的:普通の可読性で書く能力。

b. 目的:手の協調性と安定性を評価する円を描く課題(図5参照)、テスト9-16で使用。

五. 発話の明瞭性

a. 主観的:他のサブジェクトや外部の監視者と会話できる能力。

b. 目的:学習済みのリスナーが、磁気テープに録音した被験者の発話反応を、音響隔離シールドに収められたノイズキャンセリングマイクロフォンを通じて採点する、改良版韻文理解度テスト。テスト4、5、7、9-14、シリーズ15の1回、シリーズ16の3回で使用されました。

六. ストレス反応

a. 主観的:痛みの発生、体の振動、呼吸の変化、体腔内の圧力の蓄積、めまい、顔の紅潮、チクチク、吐き気、不安、疲労、その他の雑多な訴え。

b. 目的:可能な場合は心電図記録、その他の症例では脈拍数から心拍数から知る心律変化。テスト3(ジェットエンジン曝露)とテスト8(熱構造トンネルでの最終曝露)でのみ、いかなる被験者にも心電図記録が取られませんでした。

すべての客観的検査は、各被験者が自分のコントロールとして実施されました。騒音曝露前と曝露中の反応の違いは、カイ二乗検定を用いて関連付けられました。

いくつかの試験の詳細は以下の通りです。

テスト1、AMRL高強度騒音施設:サターン推進機の乗員区画(図1参照)で推定される騒音環境への曝露では、被験者は視覚、言語コミュニケーション、空間的方向感覚、指の器用さに有意な障害を報告しませんでした。パルスレートは安定し、騒音曝露による大きな変動はありませんでした。軽度の胸壁や体毛の振動は認められましたが、苦痛とは全く考えられませんでした。すべての被験者が、曝露は間違いなく耐えやすいものであると同意しました。

テスト2、AMRL高強度ノイズ施設:このテストは7つのステップで実施され、被験者はテスト1スペクトルの対応するバンドより約10dB高い音圧レベルの1オクターブ帯のホワイトノイズに2分間曝露されました。オクターブバンドの露出レベルは図1の第3オクターブバンド相当値でプロットされており、提示された広帯域ノイズスペクトルと直接比較できるようにしています。すべてのサブジェクトでは、35-70 cps(Hz)および70-140 eps バンド曝露中に軽度の胸壁および体毛の振動が認められた以外、試験環境は耐えられるものと報告されました。客観的な観測は陰性で、しかし、テスト室外のインターホンモニターは被験者の音声信号が騒音によって多少変調されていることを確認しましたが、明瞭性は良好でした。

テスト1および2の曝露で最も興味深い発見は、試した各種耳の保護装置の相対的な効果に関するものでした。100 cps(Hz)未満の周波数での耳当ての減衰測定に機器や設備の制限があるため、これらの装置の実際の効果は100 cps(Hz)から8,000 cps(Hz)の範囲で確立されたのとは異なります。しかし、これらの曝露中の被験者全員の経験

から、耳栓の挿入は非常に低周波のノイズに対してかなりの減衰効果があることが重要でした。また、耳マフのどの装置も単独で装着しても大きな音を軽減せず、一部のモデルはマフの下の音を増幅しているように見えた。イヤーマフを挿入耳栓に装着すると、プラグだけでも効果が減衰されるように見えました。

テスト 1 と 2 の被験者は、総曝露時間のかなりの期間耳の保護具を着用せず、他の被験者はそれぞれ短時間だけ保護なしで様々な騒音環境を試しました。また、マフだけを着用していた場合は、ほとんど保護が与えられなかったとも推測されています。非常に低い周波数曝露による損傷報告がなかったことから予想されていたように、検査後に聴覚の鋭さの変化は検出されませんでした。これらの結果は、1963 年 9 月に低周波サイレンを用いた短期間の研究結果とも一致しています。72 名の被験者は、3 cps(Hz) および 23 cps(Hz) の騒音に最大 1 時間、最大 131 dB の音圧レベルで曝露され、明らかな悪影響はありませんでした。耳の保護具は着用していませんでした。

テスト 3、J57 エンジン排気: 図 1 に示された F-102 エンジン騒音スペクトルへの 1 分間の曝露中、視力、空間的方向性、手の協調性は主観的に影響を受けませんでした。しかし、すべての被験者は軽度の胸壁振動を報告し、1 人の被験者は呼吸動作を「認識」したと報告しました。音声はスペクトルの高周波部分によって完全に覆い隠され、雑音場内での直接的な言語コミュニケーションは不可能でした。(限定的な音声通信は、同様の騒音領域でメンテナンス担当者が、ノイズキャンセリングマイクロフォンを音シールドに封じたインターフォンシステムを通じて実施しています。これは後のシリーズの露光で明瞭性テストで使用されました。) すべての被験者は、耳を保護する限り騒音環境は耐えられると考えていました。

試験 4 から 8、NASA-LRC 熱構造トンネル: これらの曝露中、各被験者の位置で音響測定が行われました。スペクトルは位置によって変動しましたが、図 2 に示されているものは各テストの他の被験者位置で測定された環境を代表しています。テスト 4 の曝露は比較的低レベルで、特に目立ったものではありませんでした。テスト 5 の環境は、被験者パネルがこれまでにさらされた中で最も高い低周波ノイズレベルを含んでいましたが、同時に可聴スペクトル全体で非常に高レベルのエネルギーも含んでいました。マイクロフォンやシールドによるノイズ低減にもかかわらず、録音された音声信号は完全にマスクされていました。脈拍数は安静時より 10~40% 増加しました。2 人の被験者は軽度の胸壁振動を報告し、2 人は軽い鼻腔振動、そしてそのうち 1 人は喉の詰まりを感じました。全員が、高レベルのインフラ音響の追加は、高周波帯で同様のエネルギー分布を持つ雑音場でこれまで何度も観測された応答を変化させなかったことに同意しました。

テスト 6 および 7 の特定の被写部位は、非常に低い周波数のノイズ成分を保持しつつ、高周波のエネルギーが比較的少ない露光を提供するよう選ばれました。それでも音声信号は完全に隠蔽されており、車両内に配置された被験者の信号だけは高周波の

かなりの減衰が可能でした。彼の話し方は確かに調整されていましたが、聞き明かしが悪かったのはマスクのせいと考えられていました。全被験者が軽度から中等度の胸壁振動を報告しました。3人の被験者は、正常な呼吸リズムに対して可覚ながらも許容できる干渉を経験しました。2人の被験者が喉の圧迫感を記録しました。テスト7で測定されたパルス数は、曝露中に有意な変化は認められませんでした。

テスト8では、2人の被験者が最大ノイズラジアルに沿って、75フィート後方からディフューザーチューブから約25フィートの位置まで素早く歩き、図2に示された最大露出がここで受け取られました。両被験者から再び胸部の振動と呼吸リズムの変化が確認されました。これらの検査を通じて、視力、手の協調性、空間的向きは主観的に正常でした。すべての被験者は、短期間の曝露を許容範囲と考えました。

テスト9から14、NASA-LRC 低周波ノイズ施設:NASA ラングレー研究所の低周波施設では、被験者は図3に示された6つの狭帯域ノイズ環境にさらされました。各スペクトルの音圧レベルは、装置の最大性能限界まで段階的に増加させられました。すべての検査に対して、客観的な測定のための完全なセットの結果が得られました。統計的に有意な客観的効果は検出されませんでした。各被験者からさまざまな主観的回答が引き出されました。(客観的検定は粗略的とみなされ、必ずしも微細な減少を検出するわけではありません。主観的な認識の閾値以下で回復している。)低周波ノイズスペクトルに起因する最も顕著な影響(試験9-11)は、耳の保護を着用しない曝露時に発生しました。中耳に圧力が溜まったことを反映した不快な感覚が引き起こし、頻繁にバルサルバが和らぎました。この現象はドイツ潜水艦乗りの報告と同一で、ここでも大気圧が急激に変化していたと考えられています。インサート耳栓を使う場合は、この効果はほとんど見られませんでした。イヤーマフだけではAMRL施設の試験で低周波ノイズを減衰させる効果はあまりなかったものの、中耳の圧力変化を防ぐのには役立ちました。3人の被験者は、これらの曝露中に時折鼓膜くすぐったい感覚を報告し、1人は鼻孔の振動が顕著に観察されました。また、テスト10スペクトル(5-10 cps(Hz))への曝露時に腹部壁の軽度の振動が確認されました。これらの曝露から1時間後には聴覚閾値の変化は検出されませんでした。中耳圧の変化を軽減するために耳当てを着用した場合、これらのレベルの低周波曝露は許容範囲内と判断されました。

最大強度の低音波曝露(テスト12-14)では、すべての被験者に中程度の胸壁振動、咽頭下部充満感(むせる感覚)、および可視の視野振動を生じさせました。2人の被験者は短時間の耳の保護なしで軽度の中耳の痛みを経験しましたが、3人目はくすぐりや痛みの感覚はありませんでした。録音された音声は可聴変調を示し、しかし、明瞭度スコアは対照群と変わっていません(対照スコア94~98%、曝露スコア93~98%)。曝露後の疲労は、繰り返し検査を1日行った後に一般的に認められました。グループとしての曝露は決して楽しいものとは見なされませんでした。しかし、すべてのサブジェクトは、経験した環境が許容範囲内であることに同意しました。

試験シリーズ 15、NASA-LRC 低周波ノイズ施設:試験 9-14 終了後、同じ施設で図 4 に示される 24 の離散周波数ノイズフィールドへの曝露が行われました。客観的および主観的な反応は、対応する狭帯域スペクトルによって引き出されるものと質的に類似していました。中耳の圧迫感は 30 cps(Hz)以上では問題ありませんでしたが、少なくとも 1 人の被験者では嘔吐感が増幅されました。すべての曝露は許容範囲と判断されましたが、音圧レベルが 145dB を超えるにつれて主観的な感覚の強度が非常に急激に増加したことが指摘されました。

テストシリーズ 16、米空軍 RTD 音速疲労施設:最終試験シリーズは Low 15.5 を使用して実施されました。この施設の周波数サイレン。このシリーズに参加できたのは 5 人のうち 3 人だけでした。達成された基本周波数とレベルは図 4 に示されています。サイレン機能は最大露出レベルを 40 cps(Hz)と 43 cps(Hz)に制限しました。この周波数帯域を超えると、50 cps(Hz)(153 dB)、60 cps(Hz)(154 dB)、73 cps(Hz)(150 dB)、および 100 cps(Hz)(153 dB)で任意許容が達成されました。これらのレベルでの曝露を当面停止する決定は、以下の軽度の警戒反応に基づいていました:軽度の吐き気、めまい、肋下不快感、皮膚のフラッシュ、チクチク感が 100 で発生しました cps(Hz);咳、重度の胸骨下圧迫感、窒息呼吸、唾液分泌、嚔下時の痛み、咽下部の不快感およびめまいが 60 cps(Hz)および 73 cps(Hz)で観察されました。1 人の被験者は 50 cps(Hz)で一時的な頭痛を発症しました。別の患者は 73 cps(Hz)曝露中に頭痛と精巣の痛みを発症しました。

43、50、73 cps(Hz)曝露中、すべてのサブイクで主観的・客観的な視力低下が見られました。音声はすべての曝露で知覚的に変調され、しかし、音声テープの分析では、主に変調効果に起因する明瞭度の低下は見られませんでした。理解度スコアは「正常な 95~100 パーセント」から、最高レベルの曝露で 77~86%の最低値に低下しました。しかし、騒音環境に存在する高倍波のマスキング効果により、この大きさの減少が予想されます。すべての被験者が著しい曝露後の疲労を訴えました。曝露後 2 分で聴覚閾値の変化は測定できませんでした。耳栓とマフの組み合わせは、騒音場の高倍音に対する SUF の熟練した保護を提供し、基本音の減衰にもかなり効果的だったとされています。ほとんどの症状からの回復は、騒音が止まったことで完了しました。1 人の被験者は 20 分間咳を続け、1 人は曝露後約 4 時間にわたり皮膚の潮流が残りました。疲労は一晚の睡眠で解消された。ここに報告された試験で調査されたさまざまな低周波騒音環境は図 6 に含まれており、これまでの人間の曝露経験の範囲を図式的に概説しています。比較のため、ランダムノイズ曝露はスペクトルレベルでプロットされています。全体の音圧レベルおよび 1~100 cps(Hz)の周波数帯域のレベルは右側の座標に示されています。

概要と結論

本報告書で示された耐性データは、人体被験者が高強度かつ非常に低周波のノイズに対して体系的かつ制御された全身曝露を初めて行ったことを記録していると考えられています。参考文献7で述べた簡単な調査を除き、全身への低周波ノイズ曝露の影響はこれまでほとんど研究されていませんでした。非常に低音速のノイズと中程度の低周下周波音は、従来の航空宇宙作業でよく見られます。しかし、本研究で調査されたレベルでは決してありません。

最も注目すべき反応は主に非聴覚的影響でした。利用可能なシミュレーション装置によって生み出された最大低周波露出レベルは、騒音経験者にとって自主的な許容範囲に達しませんでした。しかし、振動する圧力環境によって刺激される異常な感覚は、素朴な観察者には警戒心をもたらすかもしれません。

非常に低い音響周波数帯では、胸壁の振動、むせる感覚、呼吸リズムの変化が定期的に観察されました。しかし、自発的耐性の限界は、さまざまな装置から得られる曝露レベルによっても超えられませんでした。

50~100 cps(Hz)の範囲では、離散周波数ノイズのシミュレーター能力が主観的に耐え難い環境を生み出せるほどでした。頭痛、むせ、咳、視覚のぼやけ、疲労などの反応は十分に深刻で、騒音環境や生理的効果の定義をより正確に制御しなければ高レベルの曝露を受けることは困難でした。

これら5人の被験者が報告した回答は、主観的効果にかなりのばらつきがあり、これは予想通りです。現時点では、個人およびグループによる可能性のある変動の大きさを正確に推定することはできません。

観察される視力低下や音声の妨害変調は、特に複合的な応力が存在する場合に運用上の重要性を持つ可能性があります。新たに観察された呼吸器やその他の生理現象もさらなる研究が必要です。これらの影響は、AMRL ダイナミック・プレシユア・チャンバーの完成時に計画されている調査で大きな注目を集めるでしょう。

現在利用可能なデータは、騒音経験のある人間が耳保護具を着用して、1~100 cps(Hz)の範囲の広帯域および離散周波数の騒音を、150 dB の高音圧レベルでも短時間安全に耐えられるという結論を支持しています。しかし、少なくとも40 cps(Hz)を超える周波数帯では、このような露光は間違いなく主観的任意許容範囲と信頼性の限界に近づいています。謝辞 著者らは、バージニア州ハンプトンのNASA ラングレー研究センター、米空軍RTD ソニック疲労施設、オハイオ州ライトパターソン空軍基地のAMRL バイオダイナミクス・バイオニクス部門の多くのメンバーに感謝しています。本研究は彼らの才能と寛大な支援なしには成し得なかったでしょう。

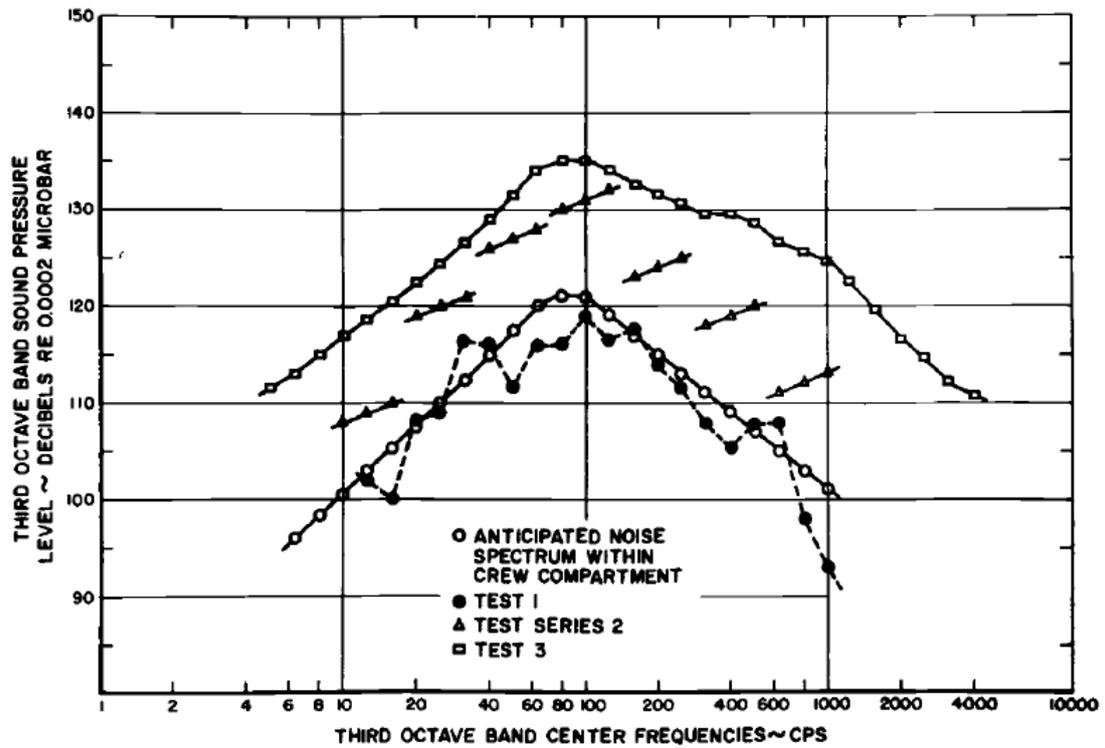


図1。AMRLでの個別曝露スペクトルおよび運用宇宙システムの推定スペクトル。サターン推進機の乗員区画で推定されたノイズスペクトルと比較したテスト1から3の露出スペクトルの第3オクターブバンド解析。データポイントは頭部レベルで測定された平均環境を反映しています。

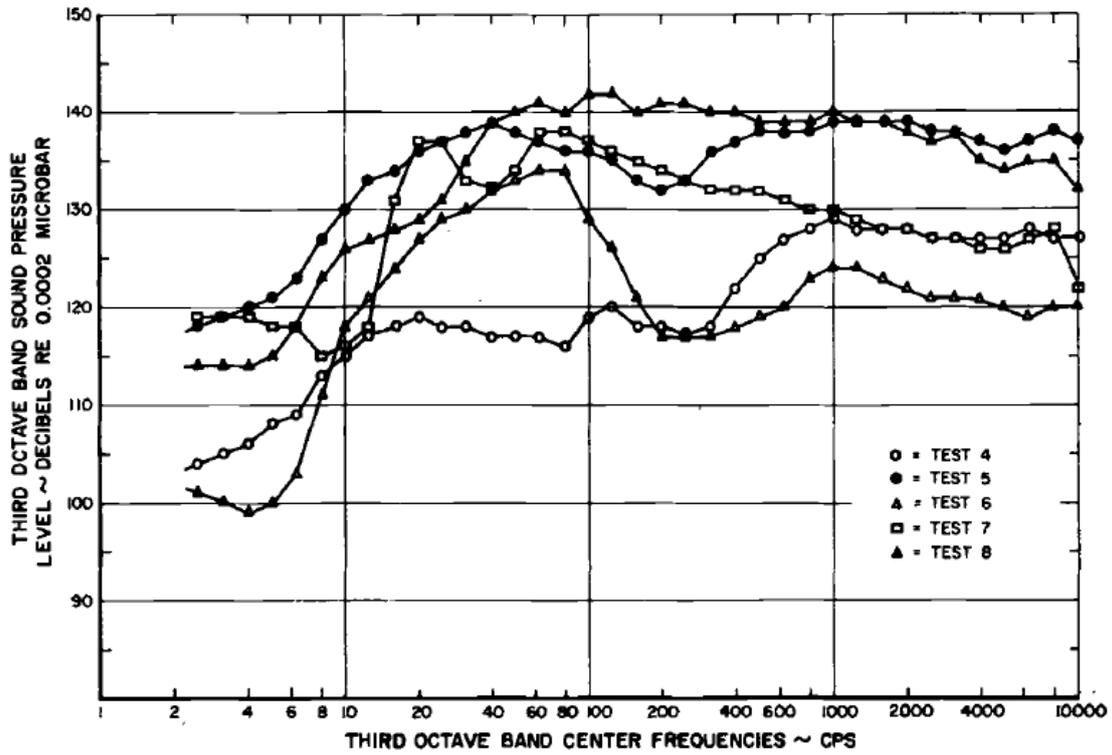


図2。NASA ラングレー研究センター熱構造トンネルでの個別露光用スペクトル。胸部レベルで測定された代表的な曝露スペクトルの第3オクターブバンド解析(4-8)。

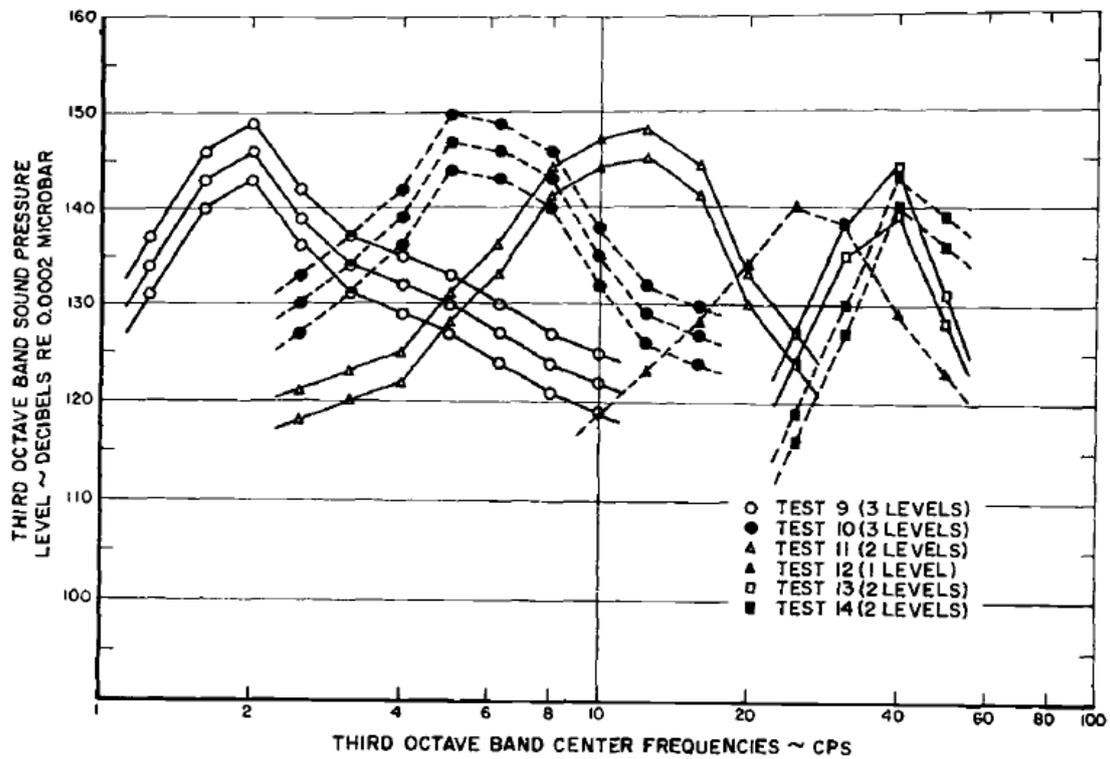


図3. NASA ラングレー研究センター低周波ノイズ施設での個別露光スペクトル。検査9から14の胸部レベルで測定した平均曝露環境の第3オクターブバンド解析。

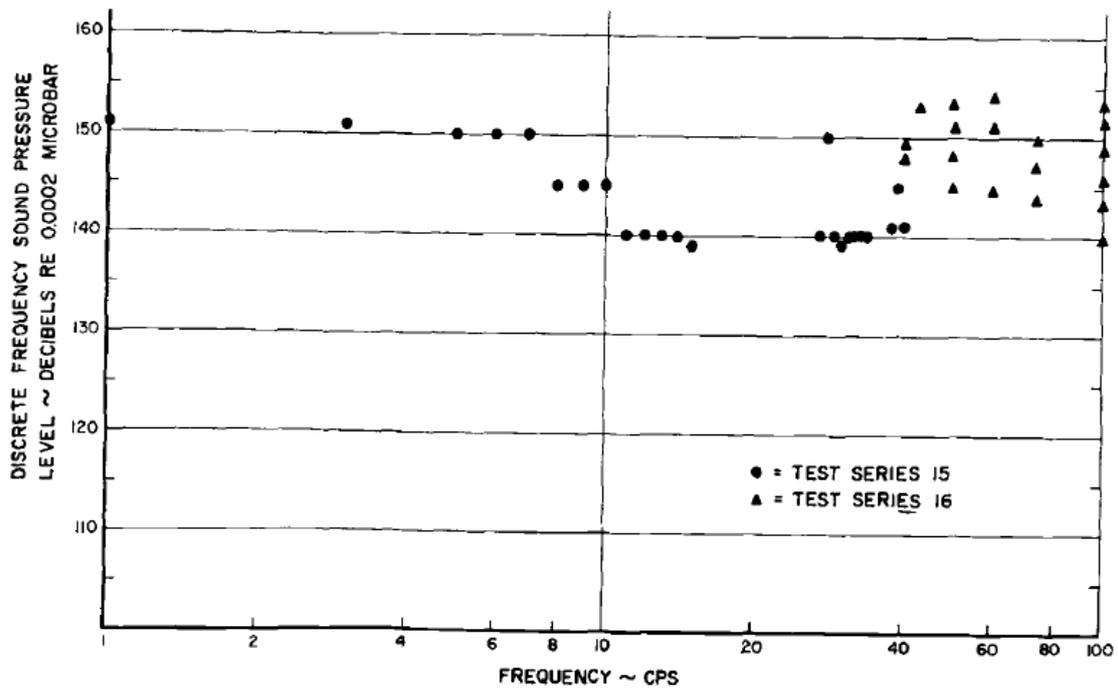


図4。NASALRC 低周波ノイズ施設および USAF-RTD 音響疲労施設での純音曝露。テスト 15 および 16 の胸の高さで測定された離散的な周波数曝露レベル。テスト 16 環境で存在する高倍波はプロットされません。

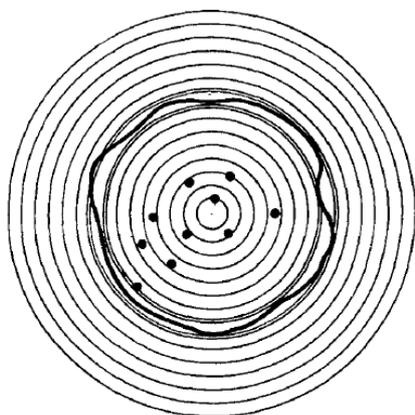


図5。手の協調と過去点のテスト結果の例。ターゲットを通常の手書き距離に置いた状態で、被験者は上記のように円形の線を自由に描きます(目を開けたまま)。その後、彼は10回連続で的の中心点を点状に狙い、目を閉じて1回手を18インチ上げます。

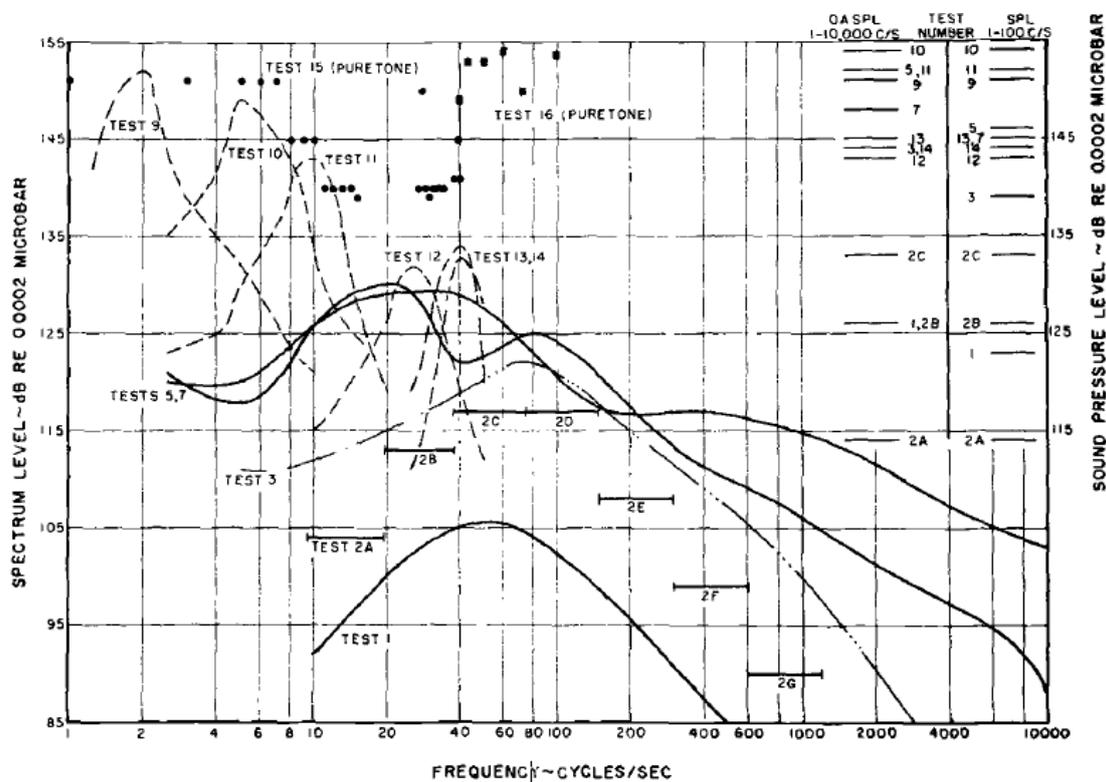


図6。テスト環境の概要。テスト 1 から 16 までの代表的なノイズ曝露の要約分析。ランダムなノイズ曝露はスペクトルレベル(左座標)でプロットされ、全体の音圧レベルは右側に

配置されています。

参考文献

- 一. 大型宇宙船の静的試験および打ち上げの安全性および設計上の考慮事項、パート II B、音響的危険性および設計データ。空軍・NASA 合同災害分析委員会、NASA-MSFG 1961 年。
- 二. WEVER, E. G., および BRAY, G. W.: 『低音の知覚と共鳴ボレー理論』心理学雑誌、3 巻 101 号、1936 年。
- 三. BEKESY, G. V.: Über die Hörschwelle und Fühlgrenzen langsamer sinusförmiger Luftdruckschwankungen. Ann. Physik., 26:554, 1936 年。
- 四. フォン・ギエルケ、H. E.、デイビス、H.、エルドリッジ、D. H.、ハーディ、J. D.: 音による聴覚的痛み。ベノックス報告書、契約番号 N6 ori-020、タスクオーダー44、ONR プロジェクト第 144079 号、シカゴ大学、1953 年 12 月。
- 五. トンドルフ、J.: 「潜水艦でのサービスが聴覚器官に与える影響」第 1 章。D II、『第二次世界大戦におけるドイツ航空医学』付録、空軍省、1950 年。
- 六. COLE, J. N., MOHR, G. C., GUILD, E. および VON GIERKE, H. E.: アポロ宇宙計画に関連する低周波ノイズの人間への影響。AMRL 覚書 B-66、1964 年 3 月。
- 七. ボルト、ベラネック&ニューマン社から MB エレクトロニクス社への報告書: プロジェクト番号 150898、低周波チャンバー、1963 年 9 月。

2026年2月10日に <https://asma.kglmeridian.com> から無料アクセスからダウンロード