

修士論文

NICU内における色相騒音計導入による
騒音低減効果の検証

令和2年度

三重大学大学院 工学研究科
博士前期課程 物理工学専攻

内山 貴文

目次

第1章 序論	4
1.1 NICUとは	4
1.2 NICU内の環境音と児への影響	4
1.3 NICU内の基準	4
1.4 NICU内の現状	5
1.5 人的要因の騒音レベルへの寄与率	6
1.6 今までに取られた対策	6
第2章 NICUの現状調査	9
2.1 はじめに	9
2.2 測定条件	9
2.3 騒音レベルの観測結果	10
2.4 騒音レベルの時間率	12
2.5 NICU内における80dB以上の音の騒音源	12
2.6 まとめ	13
第3章 色相騒音計アプリケーション	14
3.1 はじめに	14
3.2 色相騒音計とは何か	14
3.3 従来の色相騒音計の問題	14
3.4 実現したこと	15
3.5 アプリケーションの仕様	19
第4章 効果の検証	20
4.1 はじめに	20

	3
4.2 観測期間	20
4.3 色相騒音計及び精密騒音計の配置	21
4.4 アンケート調査結果	21
4.5 騒音レベル	22
4.6 統計検定	24
4.7 イベントとの対応	25
4.8 場所ごとの比較	25
4.9 まとめ	29
第5章 結び	30
5.1 今後の展望	31

第1章 序論

1.1 NICUとは

NICUとは新生児集中治療室（Neonatal Intensive Care Unit）の略称で、早産や疾患などを理由として、高度な医療を必要とする新生児のための病院内施設である。

24時間体制の治療を前提としており、アラーム音や人工呼吸器を始めとした医療機器から発生する音に加え、医療スタッフの会話や衝突音などの騒音に、NICU内にいる患児は恒常的に暴露されている。

1.2 NICU内の環境音と児への影響

NICU内で発生している騒音は、新生児にとって悪影響を及ぼすことが、複数の研究結果から報告されている。西谷らの研究に代表されるように、バイタルデータを用いて騒音レベルと新生児の状態を観察した結果、NICU内で発生している騒音は、患児にとって発育の大きな妨げとなり、過度の騒音は聴覚障害や脳内出血などの原因となることが複数の論文で指摘されている [1-6]。

治療を受ける新生児にとって、NICU内の騒音は自身で制御することはおろか、自分自身にとって害であるかどうかを判断することもままならない。そのため、医療スタッフを始めとした騒音をコントロールできる立場にいる人間が、正しい騒音の知識を以て適切な対処を行うことは非常に重要である。

1.3 NICU内の基準

そのような事情の中で、NICU内の騒音に対しては米国小児科学会（American Academy of Pediatrics, 以下AAPと記す）及び世界保健機関（World Health Organization, 以下WHOと記す）より、表1.1に示す世界的な推奨基準が設けられている。

表 1.1: NICU 内の騒音レベルに対する推奨基準値

推奨基準値発行元	評価量	推奨基準値
AAP	$L_{Aeq,1h}$	45dB
AAP	L_{A10}	50dB
AAP	L_{Amax}	65dB
WHO	昼間 L_{Aeq}	35dB 以下
WHO	夜間 L_{Amax}	40dB 以下

ここで、用語の説明をする。 L_{Aeq} とは、等価騒音レベル (Equivalent continuous A-weighted sound pressure Level) のことであり、騒音レベルのエネルギー平均を表す。 L_{A10} は、時間率騒音レベルの上位 10% 目を示す統計指標 (そのレベルを超える騒音が発生する時間率が 10% となる騒音レベル) である。また、 L_{Amax} は、対象とする時間範囲に発生した騒音レベルの最大値を示す。

1.4 NICU 内の現状

実際の NICU 内の音環境が定められた基準値を満たしているか、調査を行った研究は複数ある。結論から述べると、現状の NICU 内の音環境は、先に上げた AAP の推奨基準値を大きく超過している。AAP よりもさらに厳しい推奨基準を設けている WHO の推奨基準値も、当然超過している。

Chawla らは、NICU 2 施設に対して行った音環境の調査研究から、騒音レベルは恒常的に 10dB 以上、基準値を超過していると報告している [7]。また、複数の論文を引用し、米国のほとんどの NICU においても、基準は同様に満たされていないとした。西谷らは、日本国内で行われた複数の NICU 内の音環境の調査結果をまとめ、騒音レベルが基準値を超過している現状を報告したうえで、騒音レベルの大きさに対し、「現状では NICU の室内はまるでゲームセンターのような過激な音の洪水の中にあるといっても過言ではない」と揶揄した [1]。また、春名らは、騒音レベル改善に向けた取り組みが十分な成果を挙げられていない一つの理由として、音響学的解析の不十分さを指摘している [5]。Y.Chang らは、台湾の NICU 内にもいても同様の状態があり、騒音レベルを積極的に下げていく必要があるとした [8]。

このように、NICU 内の過剰な騒音レベルは、国を跨いで複数の論文で指摘され、世界的な課題となっている。

1.5 人的要因の騒音レベルへの寄与率

騒音レベルを効果的に下げるには、まず騒音に大きな寄与を与えている原因を絞り込むことが重要である。Y.Changらは、複数の先行研究において、スタッフ間の会話や、金属製品の衝突音、ゴミ箱の蓋の開閉などの人的要因が、NICUの主な騒音源となっていると指摘した。加えて、新生児用キャリアベッドであるコット内で観測された65dB（AAPの推奨基準値の最大値）以上の音の発生回数うち51%がスタッフの会話によるものであったと報告している[8]。西谷らは、NICU内の主な騒音発生源として、騒音レベルの大きさ順に、「保育器窓の開閉音、保育器壁への衝突音、医療スタッフや面会者の会話」を上げている。また、保育器窓の開閉によって発生する騒音はAAPが推奨している値（ L_{Amax} ）を20dB超過（エネルギーに換算して100倍の超過）していると報告している。加えて、医療スタッフに対して実施した意識調査によると、スタッフの会話、歩行音などに関しては、騒音レベルが高いにも関わらず、騒音源としての認知度は低いことが示されたとしている[1]。

このように、人的要因により発生してしまっている音が、騒音レベルへのエネルギー寄与率が高いものと推察される。また、アラーム音や人工呼吸器から発生する音は、児の生命維持に必要な不可欠な医療行為によって生じるものである。そのため、削減することは現状では難しい。これらの背景から、Y.Changらをはじめとした複数の論文において、医療スタッフに対して意識付けを行い、行動変容を促す必要があることが指摘されている[1,4,8]。

1.6 今までに取られた対策

Chawlaらは、主に人的要因によって発生する騒音を削減するため、以下の6つのアプローチを試みた[7]。

- 携帯電話をマナーモードにする
- 機器対応のスタッフは警告音を10秒以内に切るように心がける
- 『騒音が児に与える悪影響』をスタッフに講習する
- ノイズ警告灯の導入
- 静かな時間の導入を行う

- 上記の対策が実施されているか、定期的なフィードバックを行う

その結果、18ヶ月で L_{Aeq} を 3dB 低下させることができたと報告している。

また、Y.Chang らによると、閾値以上の騒音を検知すると、光るなどしてスタッフに対して注意を喚起する「ノイズ警告灯」を導入したことにより、65dB 以上の音の発生回数を 60 % 以上軽減できたとされている [8]。

いずれの先行研究においても、スタッフへの啓蒙およびスタッフの行動変容が、騒音レベル低下に対し有用な手段であることが示唆されている。本論文でも、このような対策が効果的であると考え、ノイズ警告灯などのデバイスには、表現方法をはじめとした工学的観点からの改良ポイントが数多く残っている。具体的に本研究では、以下の改良ポイントを抽出した。

- 調査やフィードバックなど、音に関する専門スタッフの定期的な干渉が必要である点
- 本来は無段階的である騒音レベルが、ノイズ警告灯で表現する際には解像度が下がってしまう点（2段階程度でしか騒音レベルを評価できていない）
- ノイズ警告灯自体の製作コストの観点から、限定的なディスプレイ方法しか選択できず、視認性が低い点
- PC を組み合わせたノイズ警告灯では、場所ごとの音の大きさをフィードバックする目的で複数個導入すれば、スペースを取ってしまう点

加えて、文字や数字だけでなく、降旗ら [9] の例に習うように、音の大きさを「色情報で表現する」という手段を用いれば、より効果的に意識付けを行うことができると考えた。現代においては、騒音レベルの測定は高精度を求めなければタブレット端末上のアプリケーションとしても実現可能である。

上述の背景から、本研究では以下の2点を目的として設定した。

1. より効果的な啓蒙装置となる色相騒音計アプリケーションを実現する（目的1）
2. 開発した色相騒音計アプリケーションの効果検証を行う（目的2）

上記の目的を達成するために、現状の NICU 音環境を調査し、NICU に最適な形の色相騒音計アプリケーションを Android 端末上に実現した。また、実現した色相騒音計アプリケーションを

NICU 内に1ヶ月以上導入し、導入前後での騒音レベルの変化と、アンケート調査による意識変化を調査した。

第2章 NICUの現状調査

2.1 はじめに

第1章で述べたように、複数の先行研究でNICU内の騒音レベルが高いことが指摘されているが、本研究で新規に開発する色相騒音計の仕様決定のため、NICU内の現状をより詳細に把握しておく必要がある。

そのため、実際に三重県内にある4つの病院を対象にして測定を行い、解析結果から導き出される「現場にとって最適な、色による騒音レベルのフィードバックシステム」の使用を決定する基礎データを得ることにした。

2.2 測定条件

以下の期間・測定条件に従ってNICU内の騒音環境を調査した。

観測1：騒音レベルの継続測定（4施設・1週間）NICU内の施設の実情を知るために、許可が取れた三重県内の4施設（A～Dと記述）を対象に環境調査を実施した。騒音レベルの測定には、精密騒音計（リオン,NL-62）を用い、調査期間は休日を含め連続7日間以上、騒音レベル（A特性音圧レベル・時間重み付け特性Fast）のサンプリング間隔は0.1秒周期とした。また、測定器を設置した場所は、室内の中央部付近の許可の取れた地点とした。

観測2：録音を伴う騒音レベルの連続測定（1施設・1週間）観測1とは別日程にて、許可の取れたA施設を対象に、録音を行いながら騒音レベルの測定をする環境調査を行った。調査期間は観測1と同様に、休日を含め連続7日間以上、騒音レベルの測定には、精密騒音計（リオン,NL-62）を用い、騒音レベル（A特性音圧レベル・時間重み付け特性Fast）のサンプリング間隔は0.1秒周期とした。録音は、波形収録プログラム（リオン,NX-42WR）を用いて、サンプリング周波数48kHzとし、SDカードへ記録した。また、測定器を設置した場所は、室内の中央部付近の許可の取れた地点とした。

以上の調査から得られた結果を次節にまとめる。

2.3 騒音レベルの観測結果

図2.1に、各施設において1時間毎に算出した $L_{Aeq,1h}$ を休日(×印)、平日(○印)別にプロットした。また同図には各時刻における測定期間内全日の $L_{Aeq,1h}$ のエネルギー平均を実線で示した。同図より、すべての施設において20時台は日毎のばらつきが5dB程度となっており、ばらつきが少ない傾向があることがわかった。

また、いずれの施設においてもAAPが推奨する基準値(L_{Aeq} :45dB)はどの時間帯においても満たされていないことが判明した。加えて、平日と休日を比較した場合、どの時間帯においても「休日の方が静かである」といった傾向は見られなかった。

一方で、施設Cを除く3施設で、 L_{Aeq} の全時間平均値は、平日よりも休日のほうが小さいことが判明した。施設Cにおいて休日の L_{Aeq} が平日を上回ったのは、2日しか計測していない休日のうちの1日においてイレギュラな騒がしい何らかの事態が発生したことが原因とも考えられる。

施設ごとの特徴を、より細かく読み取ると、施設Aにおいては、昼の12時前後、18時前後、深夜1時前後がバラツキが少なく、施設Bにおいては8時前後、20時前後、深夜0時前後がバラツキが少ないことが判明した。一方で施設Cにおいては、ほとんどすべての時間帯において、日毎のバラツキが大きいことがわかった。反対に、施設Dでは、どの時間帯においても日毎のバラツキが少ない傾向が読み取れ、施設ごとの運用の差が表れているのかもしれない。

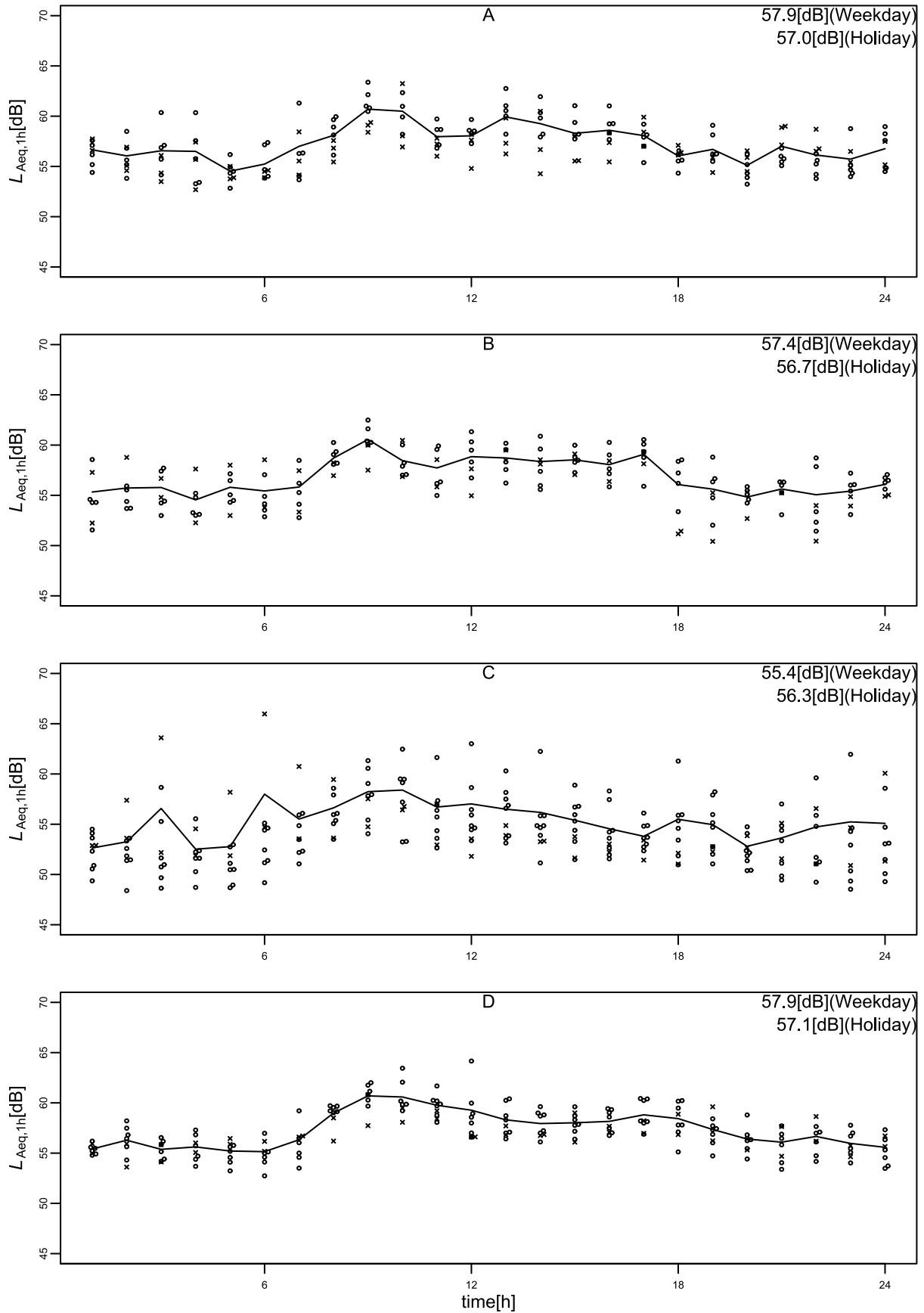


図 2.1: 各施設における $L_{Aeq,1h}$ の平日休日差
(ラインは各時刻の $L_{Aeq,1h}$ のエネルギー平均)

2.4 騒音レベルの時間率

図 2.2 は、測定に対するスケジュールの得られた B 施設における各時刻の騒音レベルの時間率を表したものである。

騒音レベルの時間率を見てみると、 $L_{A50} = 55\text{dB}$ を中心に、 $50\sim 60\text{dB}$ の騒音レベルである時間が、1 時間のうち 80 % を占めていることが読み取れる。加えて、AAP 推奨基準値である $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ より小さな騒音レベルは全く存在せず（時間率 0）、一方で最大騒音レベル $L_{Amax} = 65\text{dB}$ は、騒がしい時刻であれば 1 時間あたり 10 %（60 分あたり 6 分）程度、超過してしまっている現状が読み取れる。

この時間率データは、節 3.4(15 ページ)にて、色相騒音計アプリケーションのカラーマップを設定する際に用いる。

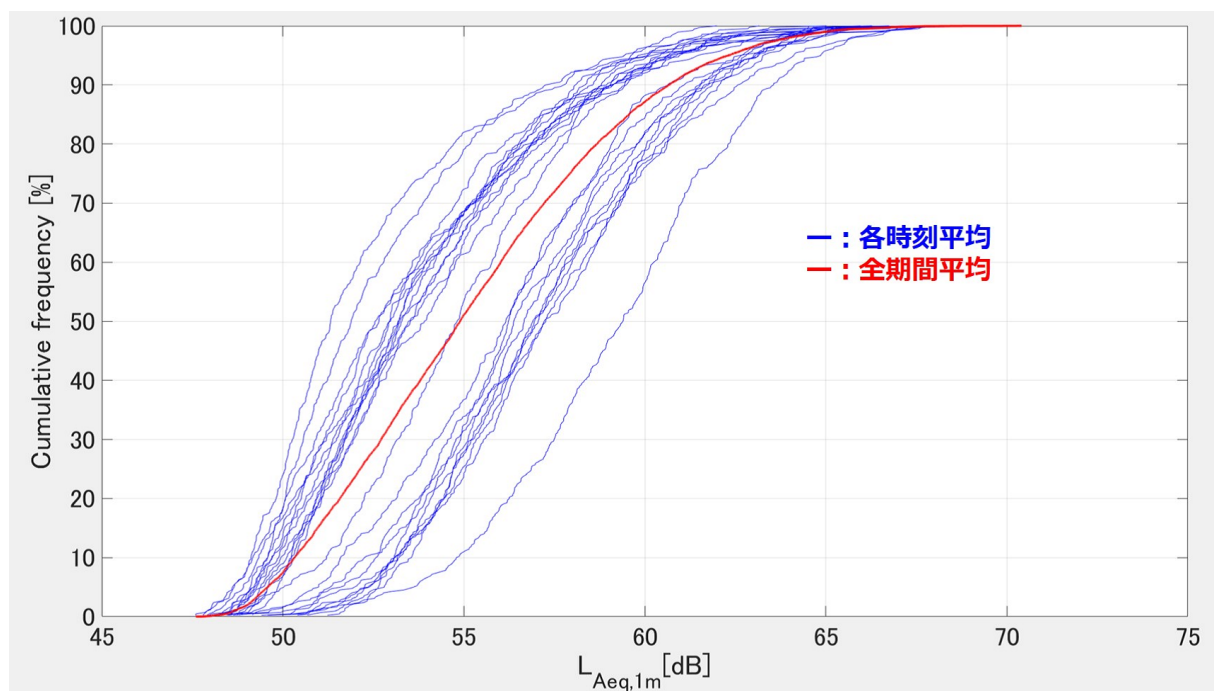


図 2.2: B 施設における各時刻の騒音レベルの時間率

2.5 NICU 内における 80dB 以上の音の騒音源

R 言語を用いて、騒音レベル（A 特性音圧レベル・時間重み付け特性 Fast・0.1 秒周期）をトリガーとして 80dB 以上の音を検出し、80dB が観測されたタイミングから前 1 秒、後 2 秒の録音データを抽出した。録音データは、精密騒音計（リオン,NL-62）にインストールされている波形取

録プログラム (リオン,NX-42WR) を用いて、サンプリング周波数 48kHz で取得されたものである。抽出された録音データから、耳で騒音源を聞き分け、分類した。

結果を図 2.3 にまとめる。

図より、スタッフをはじめとした人為的原因による騒音 (衝撃音・作業音・スタッフの話し声) が、全体の 60 % を占めていることが分かった。カウントされた音の中では、目立った大小はないため、エネルギーの分担率もこの割合に準ずるものと思われる。

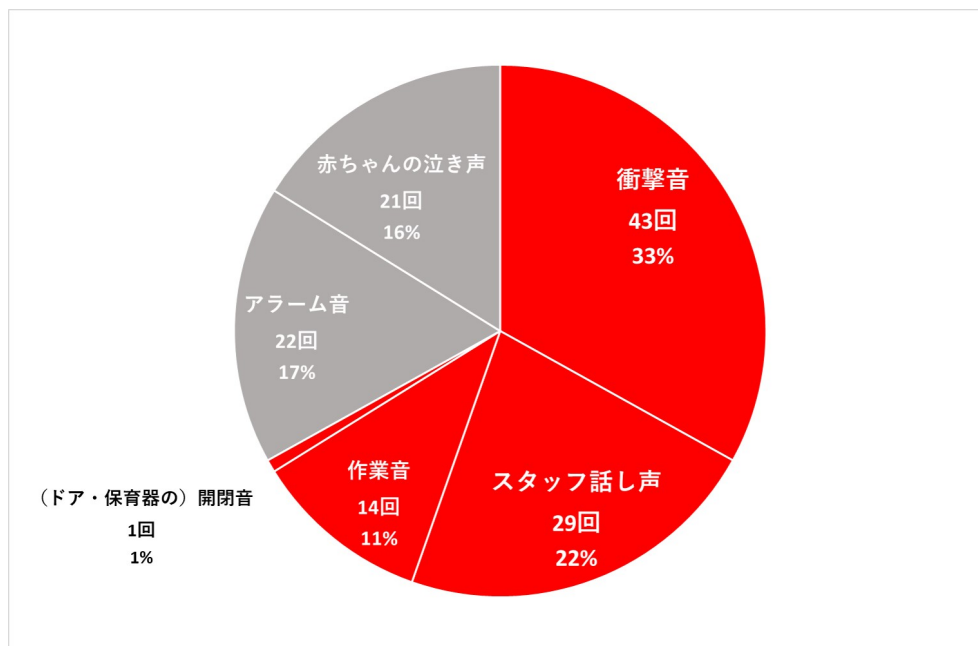


図 2.3: NICU 内における 80dB 以上の音の騒音源

2.6 まとめ

本章では、三重県内の 4 箇所の NICU に対して 1 週間の騒音調査を行った結果について解説した。現状調査を行ったところ、現状の NICU 環境音は、先行研究と同様に基準値よりも 10dB 程高いことが判明した。

次章からは 2 章で述べた結果をもとに、色相騒音計アプリケーションの要件定義を説明する。

第3章 色相騒音計アプリケーション

3.1 はじめに

本章では、色相騒音計アプリケーションの仕様決定と、Android 端末上に実現したアプリケーションの機能を示す。

3.2 色相騒音計とは何か

色相騒音計は、音の大きさから感じる印象と色を見た時に感じる印象とがマッチするように、音圧レベルに応じて5段階の色で音の大きさを表現する騒音計である。一般に認知されにくい騒音レベルを、色相を使って平易に表現し、騒音評価量に馴染みのない人にも騒音レベル上昇の直感的理解を促す一つの方法として提案されている [9]。

色相騒音計が提案された当時に比べて、今日では騒音計の内部処理の大半がデジタル化されていることもあり、タブレット端末上のアプリケーションとして色相騒音計を実現することは容易である。

本研究では、NICU 内での音環境への意識を高めってもらうため、スマートフォンを含むタブレット端末で色相騒音計を実現することにした。さらに、タブレットの通信機能等を利用して「いつ」「どこで」「どのくらい」の音が発生していたのかを音の専門知識を持たない人に対しても平易にフィードバックする機能を追加することを考えた。

3.3 従来の色相騒音計の問題

色相騒音計自体は、過去の研究で提案されたものであるが、NICU 内に導入するにあたっては、以下のような理由により、機能追加が必要と判断した。

具体的には、以下である。

- 施設ごとの最適化が容易でないこと。元来のカラーマップを使用すると、施設によっては黄色以下が表示されないなど、啓蒙装置としては適切に機能しない可能性があった
- 時間的な騒音レベルの把握が難しいこと。既存で提案されている色相騒音計は、瞬間的な騒音レベルのみを色で表現していた
- データ蓄積ができない。そのため、回収後に解析したり・施設へのフィードバックを行ったりが出来ない
- 大量生産・導入が難しい
- 専門知識がなければ導入できない

本研究では、これら全ての問題を解決するアプリケーションを実現し、タブレット上に実装、NICU 内への試験的導入を行う。

3.4 実現したこと

節 3.3 に加え、1 章の 1.6 節で挙げたノイズ警告灯の問題を含む、全ての問題に対する解決策を提示する形で、実現した仕様を説明する。

問題 施設ごとの最適化が容易でない

実現した解決策 カラーマップ両端（色の上限値と下限値に対応する）の騒音レベルをアプリケーション上で設定可能にした。

自身の施設の騒音時間率を把握しているという前提に立てば、最適なカラーマップを簡単に設定できる。今回の施設では 2.4 節の図 2.2 を参考に、上端を 65dB、下端を 45dB と設定した。

仮に自身の施設の騒音時間率が不明であった場合でも、同色ばかりが表示される場合には、カラーマップの騒音レベル範囲を医療スタッフが自分たちで再設定してチューニングしていくことは容易である。

それだけではない。今回のアプリケーションには、データのロギング機能が備わっている。そのため、自己データを用いて、騒音の時間率に合わせたカラーマップの自動最適化を行うことも可能である。

問題 瞬間的な騒音レベルのみを色で表現しており、時間的な騒音レベルの把握が難しい

実現した解決策 瞬時値である $L_{Aeq,0.5s}$ や、AAP の推奨基準値である $L_{Aeq,1h}$ を含む4つの時間平均を、同時に画面上へ色表示することで、簡単な表示でありながら直感的な騒音レベルのサマリーを認識可能になった。

図 3.1 は、左から順に $L_{Aeq,0.5s}$, $L_{Aeq,5s}$, $L_{Aeq,1m}$, $L_{Aeq,1h}$ を表示している。

当然、この時間長は任意に設定可能である。



図 3.1: 1画面に異なる時間平均を同時表示する色相騒音計アプリケーション

問題 データ蓄積ができないため、回収後に解析したり・施設へのフィードバックを行ったりが出来ないこと

実現した解決策 タブレット内へのデータを CSV で記録出来るようにした。タイムスタンプもついており、解析への橋渡しも容易である。規定では 0.1s 周期で記録を行うように設定してい

るが、この記録周期も任意に変更可能である。

加えて、データの受け渡しは回収後に限らず、インターネットを介してリアルタイムで集計することができる。

データの集計先は、自前で用意したサーバーや、Dropboxなどのクラウドサービスも利用することもできる。

更に、蓄積されたデータは、タブレット上でも解析可能である。先のオンライン上のデータ集計と併せて利用すれば、例えば県内の病院のリアルタイムな騒音レベルの平均値を算出して各病院に共有することも可能である。

問題 大量生産が難しい・専門知識がなければ導入できない

実現した解決策 今回実現したアプリケーションは、Android 端末であれば特別な設定を必要とせずにインストールが可能である。そのため、タブレットさえ用意すれば図 3.2 のように、いくらかでも、専門知識が一切不要のまま導入することができる。



図 3.2: 複数タブレットにインストールされた色相騒音計アプリケーション

問題 音に関する専門スタッフの定期的な干渉が必要

実現した解決策 本アプリケーションの導入は、他の汎用的なアプリケーションと同様にインターネット上で容易に行うことが出来る。

加えて、フィードバックも自動で行うため、音に関する専門スタッフの定期的な干渉は不要となる。

問題 本来は無段階的である騒音レベルが、ノイズ警告灯で表現する際には解像度が下がってしまう

実現した解決策 従来のノイズ警告灯では、2段階程度でしか騒音レベルを評価出来ていなかったが、今回実現した色相騒音計アプリケーションでは、補完関数を用いて約60階調を実現した。

「1 dB以下の音の大きさの変化は、ほとんど認識することは出来ない」など、人が判断できる音の大きさの精度には諸説あるが、仮に45~65dBを60階調で割った場合、表現出来る分解能は0.35dB刻みであり、人の認識出来る騒音レベルの分解能を十分以上に満たしていると考えられる。

問題 ノイズ警告灯自体の製作コストの観点から、限定的なディスプレイ方法しか選択できず、視認性が低い点

実現した解決策 タブレット端末をニーズに合わせて選べば、サイズや、取り付け方法を含んだディスプレイ方法、個数などは如何様にでもコントロール出来る。

問題 制作後にディスプレイ上の表現方法（グラフの見せ方等）を変更しにくい

実現した解決策 現場のニーズに合わせて容易に変更できる。

現在は4つの帯を用いるという方法をとっているが、例えば、時計を模した円グラフ上に騒音レベルの色表示を行えば、より直感的に時刻と騒音レベルの対応を理解できるかもしれない。

本研究では、上に挙げた問題を解決する仕様を備えた色相騒音計アプリケーションをタブレット上に実現した。

3.5 アプリケーションの仕様

開発言語 Java/Processing

アプリケーションのサイズ 2.13MB

OS Android OS

次章では、今回開発した色相騒音計アプリケーションの有効性検証の為の試験導入について説明する。

第4章 効果の検証

4.1 はじめに

色相騒音計アプリケーションを NICU 内に試験的に導入し、効果を検証するため、アンケート調査と精密騒音計（リオン,NL-62）による騒音レベル調査を行った。本章では観測条件と結果を示す。

4.2 観測期間

アンケート調査は「導入直後の1週間」と「導入から3週間以上が経過した後の1週間」の2期間に行い、医療スタッフの意識変化を検証した。

また、試験導入を行ったのは、スケジュール内で許可の取れた第2章におけるB施設のNICUである。

精密騒音計による騒音レベルの調査は、色相騒音計アプリケーションの導入開始から1ヶ月以上連続して行った。精密騒音計を設置した場所は、室内の中央部付近の許可の取れた地点とした。また、精密騒音計による騒音レベル（A特性音圧レベル・時間重み付け特性Fast）のサンプリング間隔は0.1秒周期とした。

本章ではその検証の詳細を記述する。

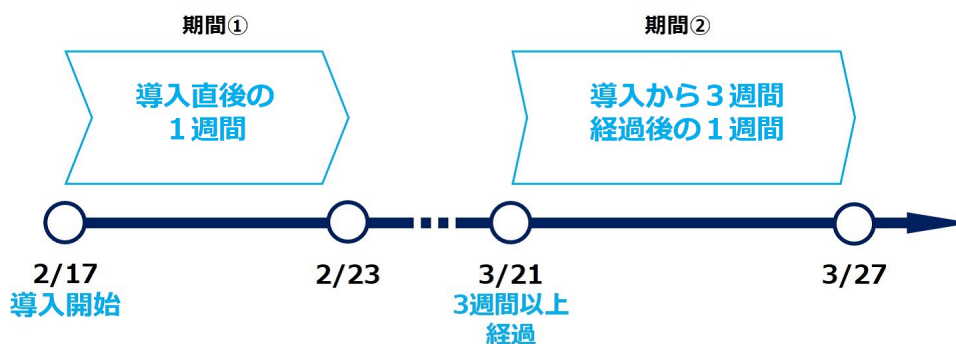


図 4.1: 導入期間

4.3 色相騒音計及び精密騒音計の配置

効果の検証にあたって、色相騒音計アプリケーションを導入したタブレット端末5台と、精密騒音計をNICU内に導入した。図4.2がその配置である。

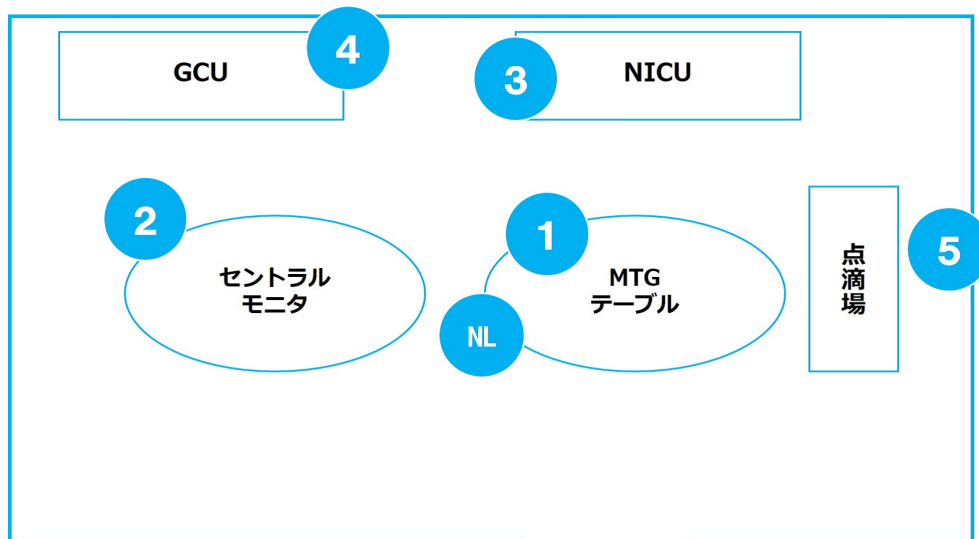


図 4.2: 色相騒音計 設置場所
(数字の1～5が色相騒音計 NLが精密騒音計)
285.7m²

4.4 アンケート調査結果

導入から3週間以上が経過した後に行ったアンケート調査において、81% (回答数 25名) が「色表示が役に立った」と回答 (質問項目「音の大きさを色で表現することが静音化に対する役立つか」に対する回答)。dB(デシベル) という数値では音の大きさを直感的に理解できないという方にも、色による表現を用いることで、事前知識不要で「大きな音の発生」を伝達するという色相騒音計のコンセプトが、有用だと判断された結果と考えられる。

また、84% (回答数 25名) が「行動変化にも繋がった」と回答。自由記述欄では「会話を小さな声でする」「児が啼泣した際はすぐに対応するよう心がけた」「アラームを早く止めるようにした」等の回答が見られた。

騒音の主要因について質問した項目においては、導入前では「アラーム音」が1位となったが、導入から3週間以上が経過した後では「赤ちゃんの泣き声」が1位となる変化があった。

4.5 騒音レベル

導入直後の1週間の L_{Aeq} は 56.7dB であり、導入から3週間以上が経過した後の1週間の L_{Aeq} は 56.3dB、 L_{Aeq} は 0.4dB の減少となった。図 4.3 に、1時間毎に算出した $L_{Aeq,1h}$ を、導入直後の1週間 (○印)、導入から3週間以上が経過した後の1週間 (×印) 別にプロットした。また同図には各時刻における $L_{Aeq,1h}$ のエネルギー平均を導入直後の1週間は実線、導入から3週間以上が経過した後の1週間は破線で示した。

同図より9時から17時の日勤時間帯では、最大で $L_{Aeq,1h}$ のエネルギー平均が 3 dB 程度減少している傾向があることがわかった。

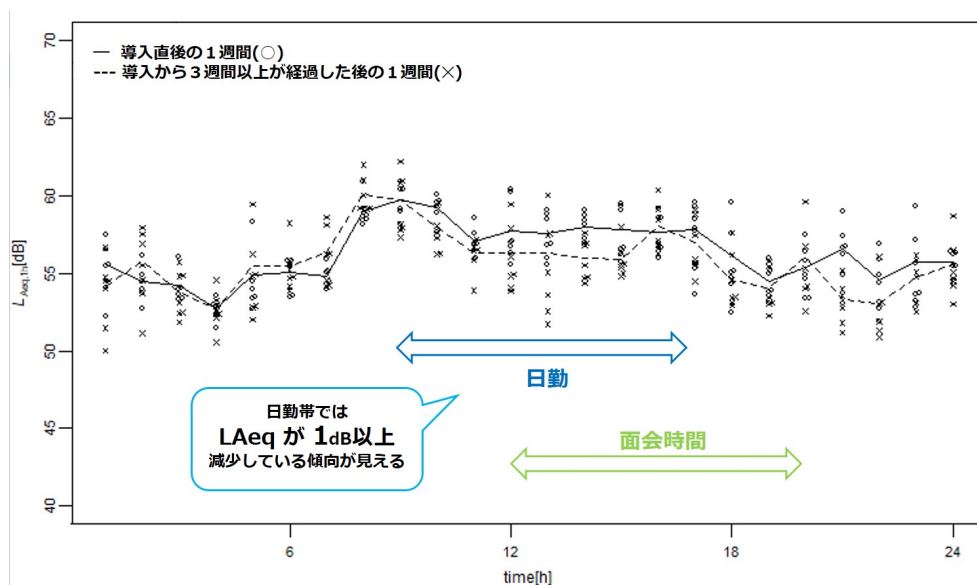


図 4.3: 1時間毎に算出した $L_{Aeq,1h}$

各日の L_{Aeq} とパーセンタイル値を図 4.4 にプロットした。

時間率騒音レベルの下位 10% と下位 5% を示す統計指標である L_{A90} 及び L_{A95} に代表される評価量が最大で 3dB ほど減少している傾向が見られる。

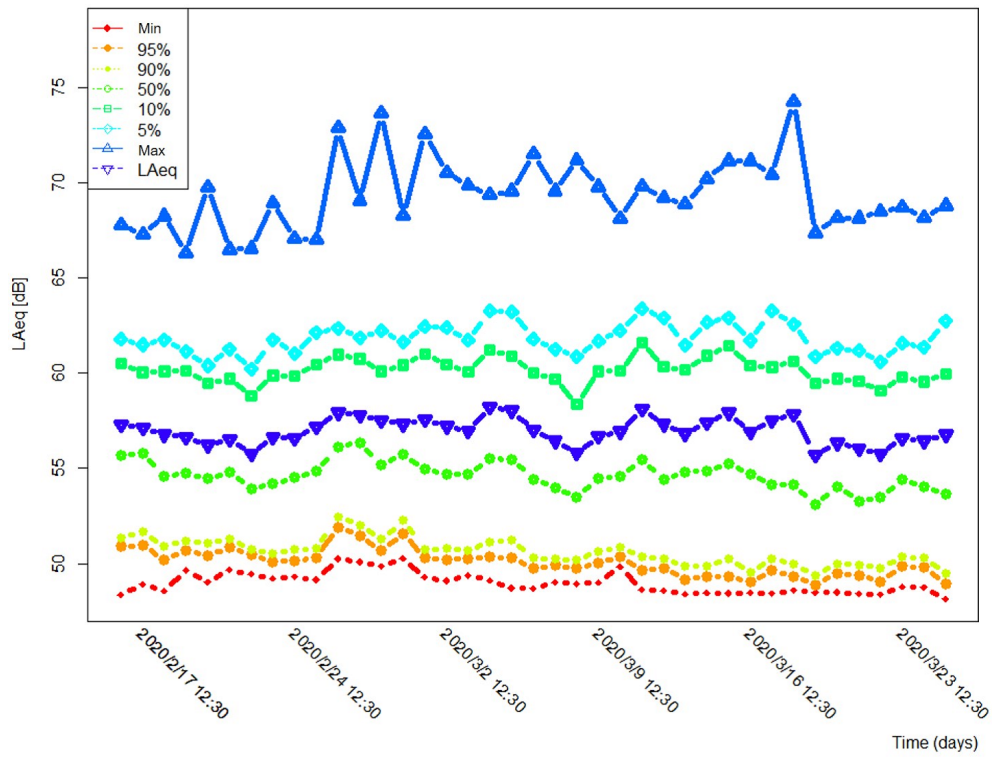


図 4.4: 各日の L_{Aeq} とパーセンタイル値

より詳細な検証を行うため、累積度数分布による確認を行った。結果を図 4.5 に示す。

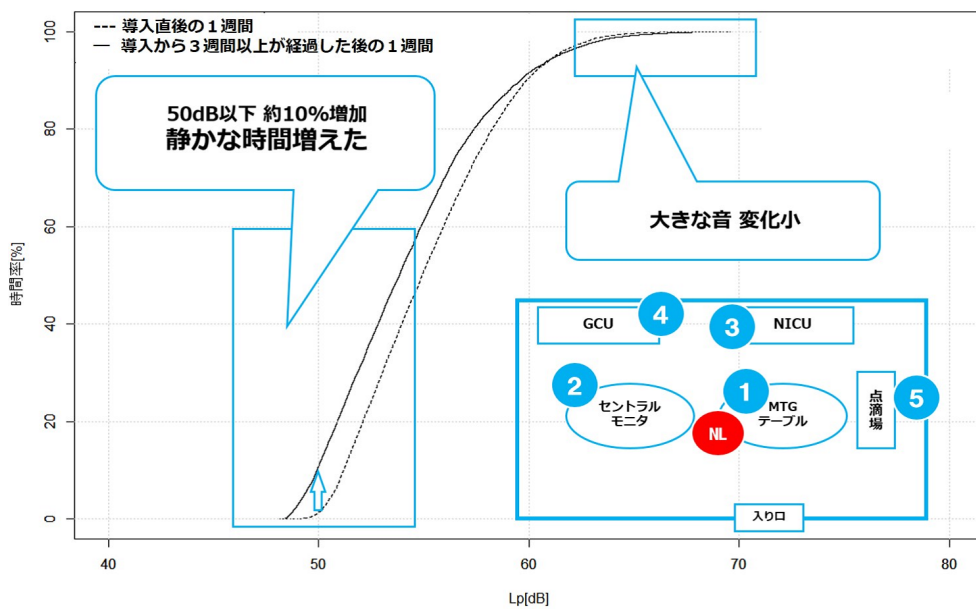


図 4.5: 騒音レベルの累積度数分布

図 4.5 より、50dB 以下の時間率が約 10 % 増加していることが読み取れた。言い換えると、静か

な時間の時間率が増えたということになる。

4.6 統計検定

さて、現状の比較では、その形状からの判断を行っていたが、より厳密な検証を行うため、統計検定を用いて詳しく調査する。

30分間隔の各パーセンタイル値を統計検定により、導入直後の1週間と、導入から3週間経過後の1週間で比較した。統計検定の方法は、マン・ホイットニーのU検定（ウィルコクソンの順位和検定）を用いた。

10%時間率騒音レベル（時間率騒音レベルの上位10%目）を示す L_{A10} と、90%時間率騒音レベル（時間率騒音レベルの下位10%目）を示す L_{A90} の比較を図4.6に示す。

有意水準は0.05とした。

L_{A90} は、8時を除き、導入前後で有意に差があることが見受けられる。

一方で、 L_{A10} は、14時,15時,21時,22時を除き、有意水準を満たさない結果となった。

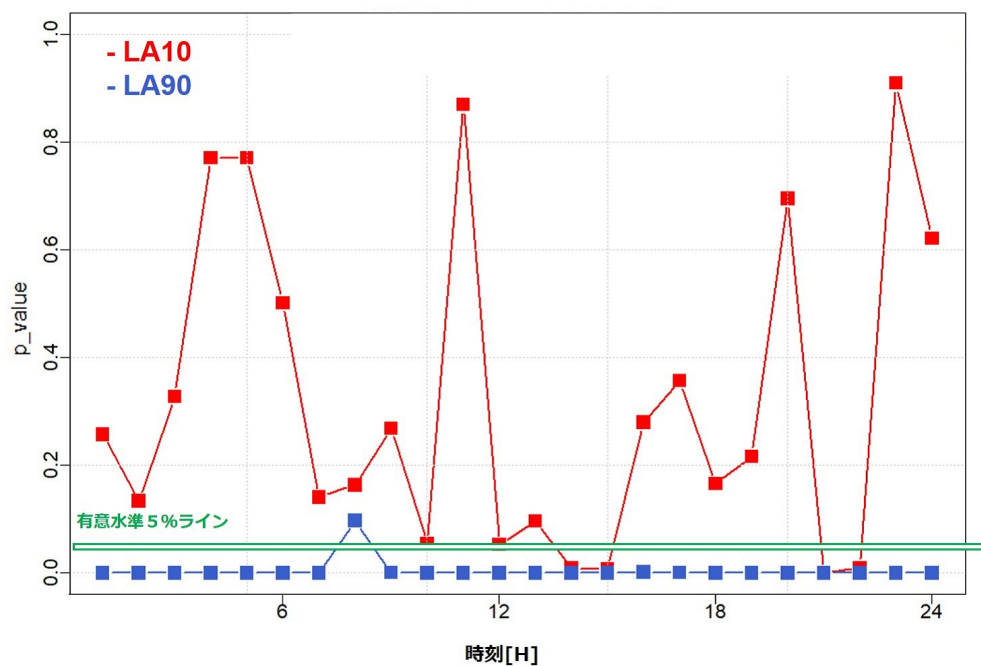


図 4.6: 30 分間隔の各パーセンタイル値
マン・ホイットニーの U 検定

4.7 イベントとの対応

8時を除き、静かな時間率を示す L_{A90} は、統計的に有意に低下したことが示された。これらの結果を、イベントとの対応で考察する。

図 4.7 は、色相騒音計を導入した B 施設のイベントと騒音レベルの対応を示したものである。

導入直後の 1 週間と、導入から 3 週間経過後の 1 週間、各時刻の騒音レベルを導入直後の 1 週間 (○)・導入から 3 週間経過後の 1 週間 (?) でプロットし、各時刻のエネルギー平均である L_{Aeq} を導入直後の 1 週間 (実線)・導入から 3 週間経過後の 1 週間 (破線) で示した。

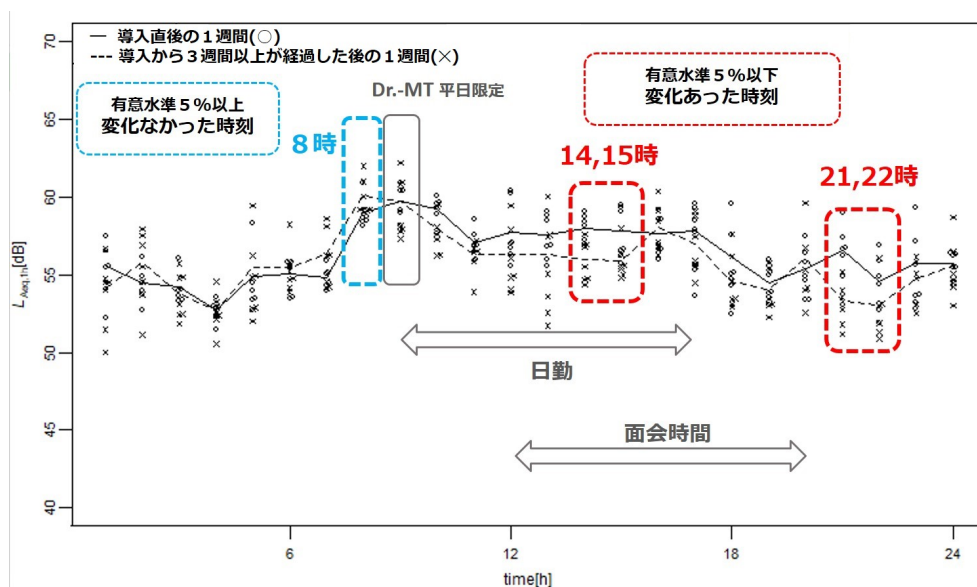


図 4.7: イベントと騒音レベルの対応

L_{A90} が有意な減少を示さなかった 8 時に特徴的なイベントはないが、9 時からドクターミーティングが行われている。ドクターミーティングは毎平日に行われ、過去に行われた平日休日の騒音レベルの比較から、騒音レベルの上昇に寄与していると考えられていた。

一方で、 L_{A10} が有意に低下した時刻帯である 14 時,15 時,21 時,22 時はそれぞれ日勤時間帯と、面会時間終了直後という属性の異なるタイミングであった。

4.8 場所ごとの比較

5 箇所に設置した色相騒音計アプリケーションに記録されていたデータから、各地点の累積度数分布を「導入直後の 1 週間」と「導入から 3 週間以上が経過した後の 1 週間」の 2 期間で比較

した。

図 4.8～図 4.12 に結果を示す。

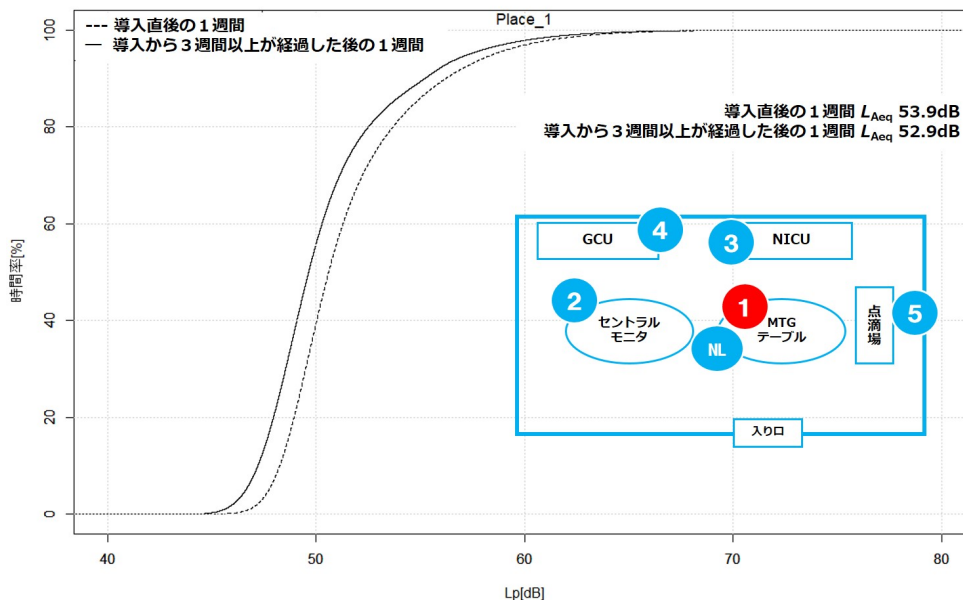


図 4.8: 地点1の騒音レベルの累積度数分布変化

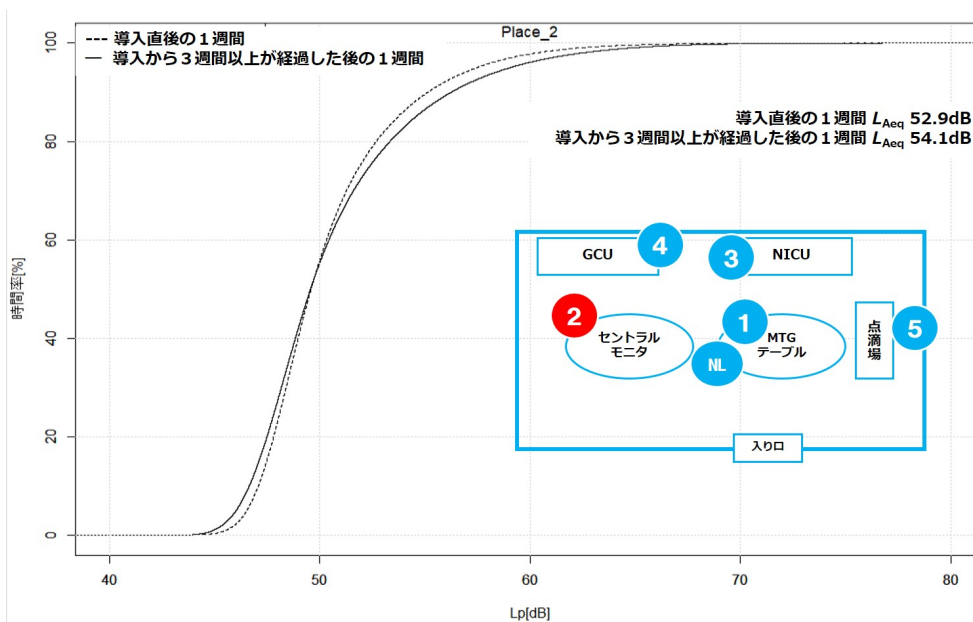


図 4.9: 地点2の騒音レベルの累積度数分布変化

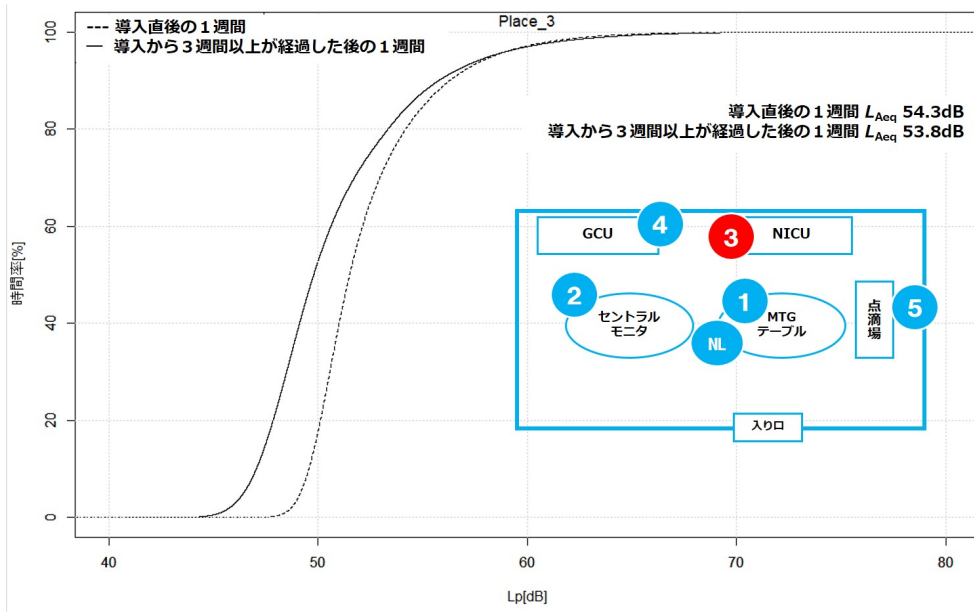


図 4.10: 地点3の騒音レベルの累積度数分布変化

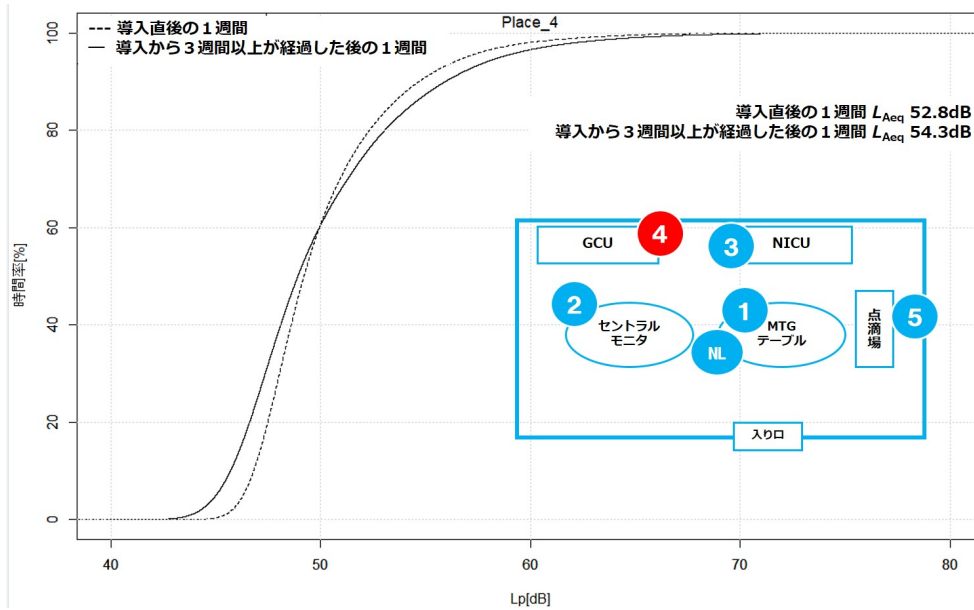


図 4.11: 地点4の騒音レベルの累積度数分布変化

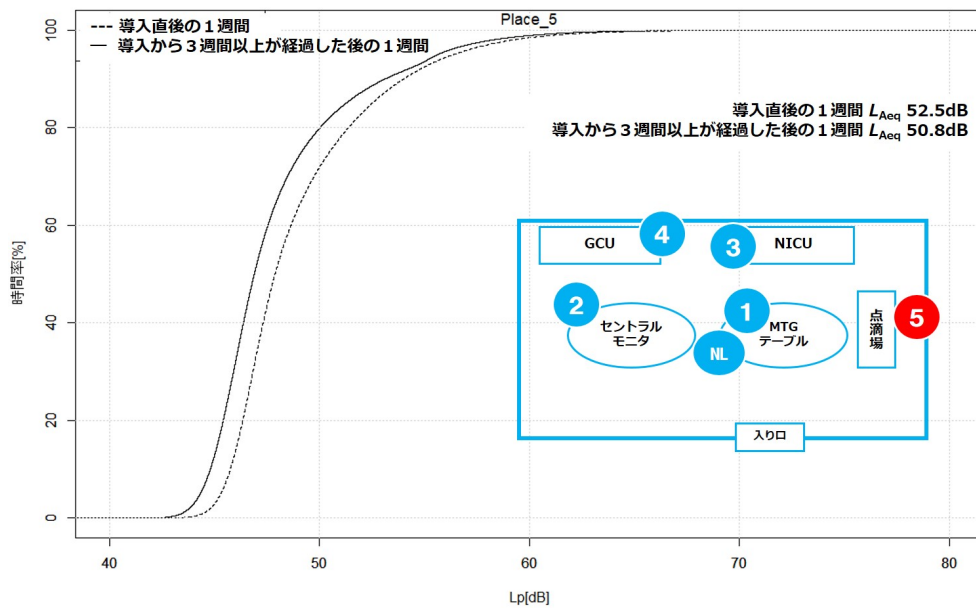


図 4.12: 地点5の騒音レベルの累積度数分布変化

同図には各1週間のエネルギー平均である L_{Aeq} も記載した。また、図 5.1 には、精密騒音計を含めた L_{Aeq} の増減と場所の比較を示した。

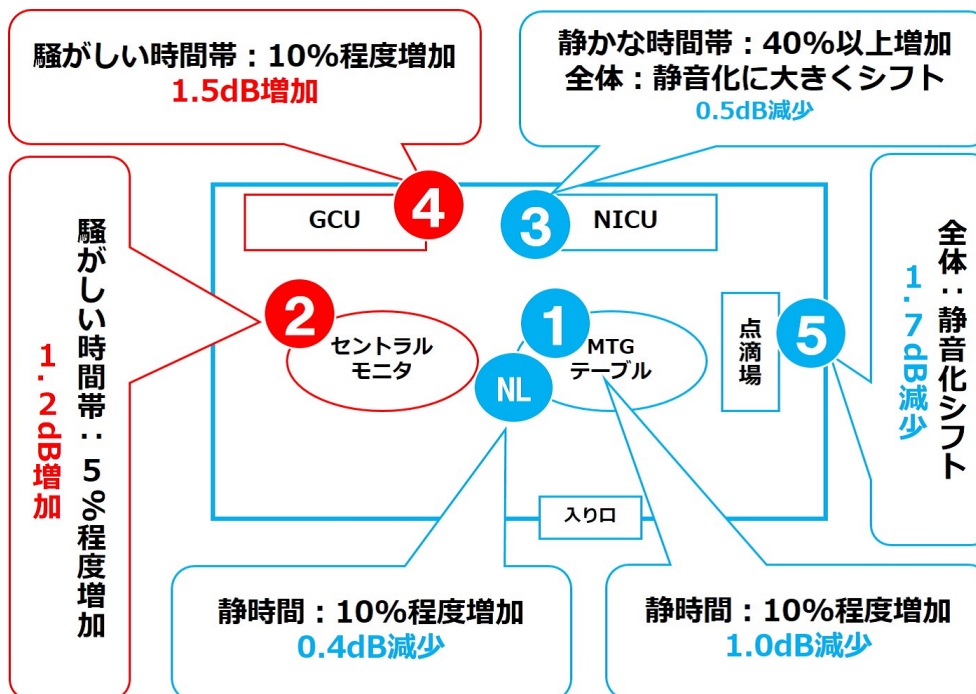


図 4.13: 精密騒音計を含めた L_{Aeq} の増減と場所の比較

精密騒音計によって収集されたデータではないため、あくまで参考値となるが、医療スタッフ

が積極的にコントロールできる騒音源が多い箇所ほど騒音レベルが減少した傾向が読み取れる結果となった。

4.9 まとめ

本章では、色相騒音計アプリケーションを NICU 内に試験的に導入し、効果を検証するため、アンケート調査と精密騒音計 (RION,NL-62) による騒音レベル調査を行った結果を示した。

アンケート調査結果においては、81% (回答数 25 名) が「色表示が役に立った」、84% (回答数 25 名) が「行動変化にも繋がった」と回答した。デシベルという数値では音の大きさを直感的に理解できないという方にも、色による表現を用いることで、事前知識不要で「大きな音の発生」を伝達するという色相騒音計のコンセプトが、有用だと判断された結果と考えられる。

騒音レベルの測定結果においては、9時から17時の日勤時間帯では、最大で $L_{Aeq,1h}$ のエネルギー平均が 3 dB 程度減少している傾向があることがわかった。各日の L_{Aeq} とパーセンタイル値をプロットした図 4.4 より、時間率騒音レベルの下位 10% と下位 5% を示す統計指標である L_{A90} 及び L_{A95} に代表される評価量が最大で 3dB ほど減少している傾向が見られた。

また、図 4.5 より、50dB 以下の時間率が約 10% 増加していることが読み取れた。言い換えると、静かな時間の時間率が増えたということになる。

加えて、精密騒音計によって収集されたデータではないため、あくまで参考値となるが、医療スタッフが積極的にコントロールできる騒音源が多い箇所ほど騒音レベルが減少した傾向が読み取れる結果となった。

第5章 結び

本研究では NICU 内の人が発生させる騒音レベル削減のために、以下の 2 点を目的として設定した。

1. より効果的な啓蒙装置となる色相騒音計アプリケーションを実現する（目的 1）
2. 開発した色相騒音計アプリケーションの効果検証を行う（目的 2）

上記の目的を達成するために、現状の NICU 音環境を調査し、NICU に最適な形の色相騒音計アプリケーションを Android 端末上に実現した。また、実現した色相騒音計アプリケーションを NICU 内に 1 ヶ月以上導入し、導入前後での騒音レベルの変化と、アンケート調査による意識変化を調査した。

アンケート調査結果においては、81 %（回答数 25 名）が「色表示が役に立った」、84 %（回答数 25 名）が「行動変化にも繋がった」と回答した。デシベルという数値では音の大きさを直感的に理解できないという方にも、色による表現を用いることで、事前知識不要で「大きな音の発生」を伝達するという色相騒音計のコンセプトが、有用だと判断された結果と考えられる。

騒音レベルの測定結果においては、9時から17時の日勤時間帯では、最大で $L_{Aeq,1h}$ のエネルギー平均が 3 dB 程度減少している傾向があることがわかった。各日の L_{Aeq} とパーセンタイル値をプロットした図 4.4 より、時間率騒音レベルの下位 10 % と下位 5 % を示す統計指標である L_{A90} 及び L_{A95} に代表される評価量が最大で 3dB ほど減少している傾向が見られた。

また、図 4.5 より、50dB 以下の時間率が約 10 % 増加していることが読み取れた。言い換えると、静かな時間の時間率が増えたということになる。

加えて、精密騒音計によって収集されたデータではないため、あくまで参考値となるが、医療スタッフが積極的にコントロールできる騒音源が多い箇所ほど騒音レベルが減少した傾向が読み取れる結果となった。

5.1 今後の展望

今回我々は1施設のみの検証となったが、今後は複数の施設に検証対象を広げて有効性を確認したい。加えて、色相騒音計アプリケーションは、タブレット端末さえ用意すれば専門知識不要でいくらかでも導入することができる。今後 NICU 内に限らず、騒音レベルを意識変化により改善したいというニーズに柔軟に対応できるだろう。

また、アンケート調査の自由記述欄にて要望のあった、「サーバ機にデータを集約して、自動的にグラフ化する等してスタッフへのフィードバックを行う機能」を実験するなど、より効果的な騒音視覚化システムを構築・検証することが今後の課題である。

謝辞

本研究の遂行及び本論文作成に際し終始多大なる御指導を賜った野呂雄一教授、本論文をご精読の上有用な御助言を頂いた竹尾隆教授、ヒューマンインタフェース研究室 若林哲史教授に心より感謝の意を表します。ならびに、三重県の NICU を有する周産期医療施設 5 施設においては、研究趣旨に賛同いただき、ご協力を賜りましたことに感謝いたします。また、本研究のために備品の管理や技術指導をして下さった山本好弘技術職員並びに実験の補助をしていただいた院生、学部生諸氏に深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 西谷陽志, 下左近多喜男, “NICU 内の騒音環境の現状と改善対策に関する考案, A proposal for how to cope with improvement of sound environment in NICU”, 日本生産管理学会論文誌,14(1), (2007).
- [2] 吉永陽一郎, “過剰刺激からの保護”, Neonatal Careo 13(10),pp.916-921, (2000).
- [3] 山口 靖之, “保育器内の音環境が児に与える影響について The Effect of Sounds on Neonates in an Infant Incubator”, 医科器械学,69(8), pp.378-383, (1999).
- [4] Debra H Brandon, “Effect of environmental changes on noise in the NICU”, Adv Neonatal Care,pp.5-10,(2008).
- [5] 春名 純一, “小児集中治療室における騒音の音響学的分析”, 日本集中治療医学会雑誌,16(2),pp.175-180,(2009)
- [6] 近藤 好枝, “NICU の環境と児への影響”, 周産期医学, 38(5) ,pp.551-555,(2008)
- [7] Chawla S,“A targeted noise reduction observational study for reducing noise in a neonatal intensive unit”, Journal of Perinatology,37, pp.1060-1064, (2017).
- [8] Y.Chang,“A noise-sensor light alarm reduces noise in the newborn intensive care unit”, American Journal of Perinatology 2006 Jul 23(5), pp.265-271,(2006)
- [9] 降旗建治 柳沢武三郎, “色相と等価騒音レベルからなる評価尺度 による色相騒音計とその有用性”, 電子情報通信学会論文誌 A 基礎・境界 78(4), pp.469-475, (1995).