

ストレッチャ回転時の乗り心地推定モデル

Estimation of ride comfort during rotation of stretcher transport

佐川貢一* , 清藤奈菜子**

Koichi Sagawa* , Nanako Seito**

*弘前大学, **(株)ユニバース

*Hirosaki University, **Universe Co., Ltd.

キーワード： ストレッチャ (stretcher) , 移送 (transportation) , 回転 (rotation) , 乗り心地 (ride comfort) , 推定 (estimation)

連絡先： 〒036-8561 青森県弘前市文京町3 弘前大学理工学部知能機械システム工学科
佐川貢一 , Tel.: (0172)39-3691 , Fax.: (0172)39-3691 , E-mail: sagawa@cc.hirosaki-u.ac.jp

1. はじめに

病気や怪我のために、身体的、生理的に特殊な状態にある患者の移送手段は限定されている。現在、病院内で患者を移送する手段として、ストレッチャ(簡易寝台)の利用頻度は極めて高い。そしてストレッチャで病院内を移送される患者は、長時間ストレッチャによる移動を体験する。その過程でエレベータによる上下振動、発進停車による前後運動、カーブによる旋回、段差による振動等、機械的にさまざまな負荷が患者に作用する¹⁾。さらに、患者は病気や怪我による不安や緊張のため、精神的な負荷も作用していると考えられる。そのため、ストレッチャ移送にはこれらの負荷をできるだけ除去するのが望ましい。例えば、機械的な負荷による悪影響の一例として、乗り物酔いが考えられる。乗り物酔いは、脳が乗り物の不規則な運動(振動、速度変動)を不快と判断したり、頭の傾斜や回転と視覚変化が一致しない場合に生じる。

その対策として、医療機関では移送方法に関してのマニュアルを作成しているものの、その方法は経験に基づいて作られた移送法であり、明確な根拠等はあまり示されていない。そのため、移送する看護師によって移送方法が様々であることも問題である。今までに、緊急車両等に関しては、患者に与える負担を少なくするための研究が行われてきた²⁾⁻⁷⁾。しかし、病院内のストレッチャに関しては、ほとんど調査が行われていない。

そこで本報告では、ストレッチャ移送が患者に与える悪影響を調査し、乗り心地を改善する方法を模索することを目的とする。ここでは特に回転時の乗り心地に注目するため、ストレッチャの回転角速度と乗り心地の関係を数学モデルで表すことを試みる。さらに、得られたモデルを使用して、乗り心地を悪化させない回転方法を探索する。

2. 原理

2.1 ARXモデル

本報告では、ストレッチャの回転角速度と乗り心地の主観評価値(不快感)との関係を表すため、ARXモデル(AutoRegressive model with eXogenous)を使用する⁸⁾⁹⁾。ARXモデルは、以下の式で表される。

$$A(z)y(n) = B(z)u(n) + e(n) \quad (1)$$

ここで、 $y(n), u(n), e(n)$ はそれぞれ、モデルの出力、入力、ホワイトノイズである。ただし、 $A(z), B(z)$ は以下のような z^{-1} の多項式である。

$$A(z) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_naz^{-na} \quad (2)$$

$$B(z) = b_1z^{-nk} + \dots + b_nbz^{-nk-nb+1} \quad (3)$$

$$a_i, b_j (i = 1, 2, \dots, na, j = 1, 2, \dots, nb)$$

a_i, b_j は定係数である。また、 na は極の数、 nb は零点の数、 nk はシステムの時間遅れ(むだ時間)である。式(1)を差分方程式で表すと、以下のようになる。

$$\begin{aligned} & y(n) + a_1y(n-1) + \dots + a_nay(n-na) \\ & = b_1u(n-nk) + \dots + b_nbu(n-nk-nb+1) \end{aligned} \quad (4)$$

これは、現在の出力 $y(n)$ を na 個の過去の出力データと nb 個の入力データに関連づけるものである。本報告では、実験により得られた角速度を入力値 $u(n)$ 、乗り心地の不快感を $y(n)$ として、ARXモデルの係数 a_i, b_j を最小二乗法を使用して決定する。その際、白色雑音 $e(n)$ は無視する。そして、得られたモデルに角速度を入力することにより、ストレッチャ移送時の不快感を推定することが可能となる。

モデルの当てはまりの良さは、AIC(Akaike Information Criterion、赤池情報量規準)を利用して評価した。AICは以下のようにして得られる。

$$AIC = \log V + \frac{2d}{N} \quad (5)$$

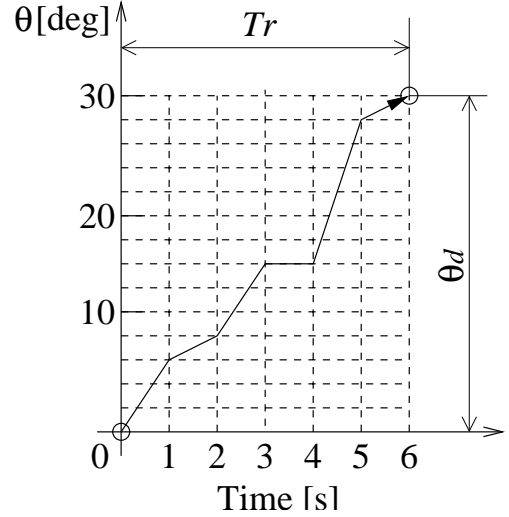


Fig. 1 Definition of rotational angle of the stretcher. Rotational duration T_r is determined at first. Minimum time step and angle one of the simulation are 1 [s] and 0 [deg], respectively.

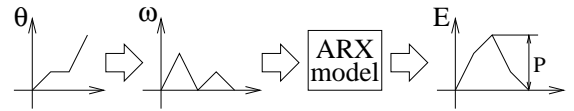


Fig. 2 Method of finding the optimal trajectory of rotational angle that minimizes the ride discomfort during transport. Angular velocity ω is calculated by the numerical differentiation of angle change θ . Then ω is applied to ARX model and ride discomfort is estimated.

ここで、 V は損失関数、 d は推定されるパラメータの数、 N は推定に使用するデータの数である。AICは値が小さいほどモデルの当てはまりが良いとされる。なお、モデルの構築およびシミュレーションには、MATLABのSystem Identification Toolboxを使用した¹⁰⁾。

2.2 最適回転法

ARXモデルを利用することによって、回転時の不快感の変化が最も小さくなるような回転を探索することが可能となる。本報告では、Fig.1に示すように、時間 T_r の間に角度 θ_d だけ回転する経路を設定する。回転角度の変化は、初期角度(0[deg])か

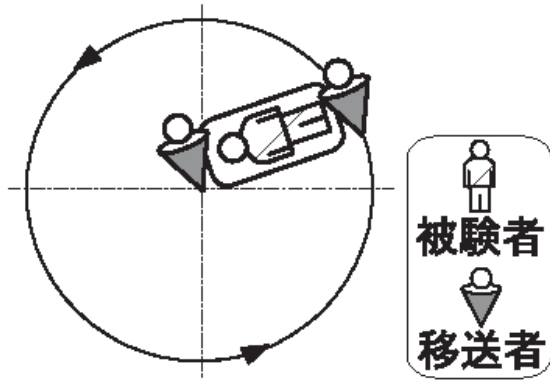


Fig. 3 Rotational method of stretcher transport performed in this study.

ら 1 [s] 毎に回転角度を変化させ、 T_r 後に θ_d に至る全ての経路を設定する。なお、回転角度はマイナス方向には変化しないものとする。その後、Fig.2 に示すように、数値微分によって角速度 ω [deg/s] を求め、これを ARX モデルに適用して乗り心地の評価値(不快感) E を求める。最後に、 E のピーク値 P が最小になるような回転角度を、最適な回転経路とする。

3. 実験方法

ストレッチャ回転時の機械的特性と乗り心地の関係を測定するため、被験者の頭部側を中心にその場で回転する経路を設定して、ストレッチャによる移送実験を行った。実験は、Fig.3 のように行われる。移送形態は、被験者がストレッチャに横になり、移送者 2 人がストレッチャの前後に位置する。そして、ストレッチャ後方の移送者がストレッチャを回転させる。

回転の条件を決定するパラメータには、角速度、回転量、回転時間がある。そこで回転条件は、回転時間を一定にして角速度と回転量を変化させる方法(A1, A2, A3)、回転量を一定にして角速度と回転時間を変化させる方法(B1, B2, B3)、角速度

を一定にして回転量と回転時間を変化させる方法(C1, C2, C3)の三種類の条件を考え、計9種類の条件で実験を行う。以下に回転条件をまとめて示す。

1) 回転時間一定(5[s])

- A1:角速度30[deg/s]、回転量150[deg]
- A2:角速度60[deg/s]、回転量300[deg]
- A3:角速度90[deg/s]、回転量450[deg]

2) 回転量一定(180[deg])

- B1:角速度30[deg/s]、回転時間6秒間
- B2:角速度60[deg/s]、回転時間3秒間
- B3:角速度90[deg/s]、回転時間2秒間

3) 角速度一定(45[deg/s])

- C1:回転時間2秒間、回転量90[deg]
- C2:回転時間4秒間、回転量180[deg]
- C3:回転時間8秒間、回転量360[deg]

移送者は、床面に張り付けられたマーカ上を一定の周期で進むことによって、毎回同じ様な移送条件を実現することを心がける。また実験の順番は、時間一定のA1, A2, A3、回転量一定のB1, B2, B3、角速度一定のC1, C2, C3の順番で続けて行う。各回転条件の間は10秒間静止する。

3.1 乗り心地評価方法

ストレッチャの乗り心地を実時間連続評価するために、Fig.4に示すようなスイッチを使用し、カテゴリ連続判断法⁷⁾を用いて乗り心地を6段階評価した。評価値は、

評価値	状態
0	無感(何も押さないとき)
1	少し不快(親指)
2	やや不快(人差指)
3	不快(中指)



Fig. 4 Evaluation switch of ride comfort. The stronger the subject feels uncomfortable, the bigger the selected number of the button is.

- 4 かなり不快(薬指)
- 5 非常に不快(小指)

とした。評価値が大きい程不快感が高い。被験者は、一秒毎に鳴るブザーの音を聞きながら、乗り心地の評価を行う。また、今回の実験場所である大学構内と、実際にストレッチャが使用される病院内とは、天井までの高さなどのような環境に差がある。そこで、周囲の影響を遮断するために、被験者は目を閉じ、騒音を消すヘッドホン(BOSE, QuietComfort2)を装着した。

3.2 データ収集方法

回転時の角速度は、ジャイロ(村田製作所, GYROSTAR EMC-03J)をストレッチャの頭部側の枕下に取り付けて計測した。一方評価スイッチは、対応するレベルのスイッチを押すことにより、異なる電圧を出力する。計測データは、サンプリング周波数100[Hz]で、12ビット分解能のカード型ADコンバータ(National Instruments, DAQCard-6024E)を経由してノート型パソコン(SONY PCG-SRX7)に収集した。

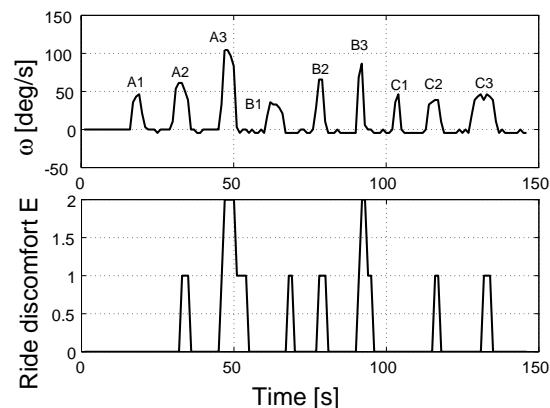


Fig. 5 An example of experimental result. Top of the figure illustrates angular velocity and bottom one depict ride discomfort level E .

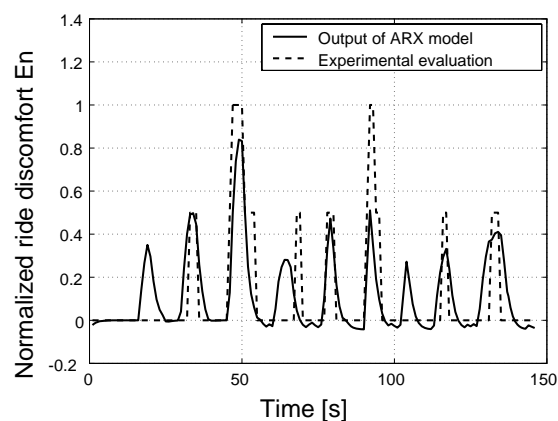


Fig. 6 Comparison of normalized ride discomfort E_n between experimental evaluation and output of ARX model.

4. 実験結果

Fig.5は、実験により得られたストレッチャの回転角速度 ω [deg/s]と乗り心地の評価値 E である。図中のA1~C3は、回転方法を示す。乗り心地評価値の変化から、角速度の大きさに比例して、乗り心地が悪化していることが確認できる。また、回転時間が長くなっても、乗り心地には影響していないことも確認できる(C1, C2, C3)¹¹⁾。次に、Fig.5の結果を利用して乗り心地の不快感を推定するARXモデルを構築し、測定結果と比較する。得られた

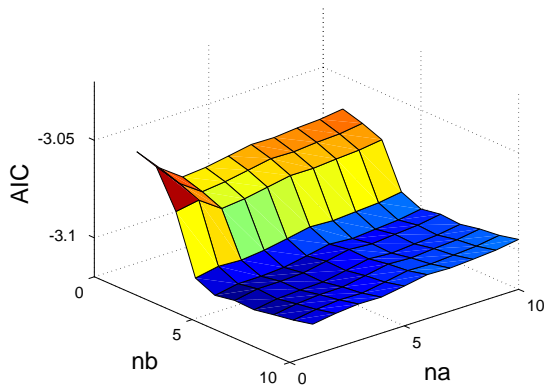


Fig. 7 AIC derived by using all the experimental data. AIC is minimized when $na = 1$, $nb = 5$ and $nk = 0$.

Table 1 Values of parameters in ARX model developed from the experimental results of all subjects.

Parameter	Vaule
a_1	-5.904×10^{-1}
b_1	1.112×10^{-3}
b_2	5.093×10^{-4}
b_3	-5.982×10^{-4}
b_4	9.748×10^{-4}
b_5	1.026×10^{-3}

ARXモデルは以下ようになった。

$$A(z) = 1 - 0.6837z^{-1} + 0.09344z^{-2} \quad (6)$$

$$B(z) = 0.003924 \quad (7)$$

Fig.6は、実験で測定した角速度データをARXモデルに適用した結果と、実際の乗り心地の評価結果との比較である。ただし、乗り心地の評価値は、最大値で正規化した値 E_n となっている。このときの相関係数は0.74となり、比較的高い相関があることが確認できる。

次に、ストレッチャによる回転移送を体験した被験者の中で、乗り心地の悪化を感じた被験者のデータを全て使用し、ARXモデルの導出を行う。乗り心地の評価値は全て、被験者毎に正規化した

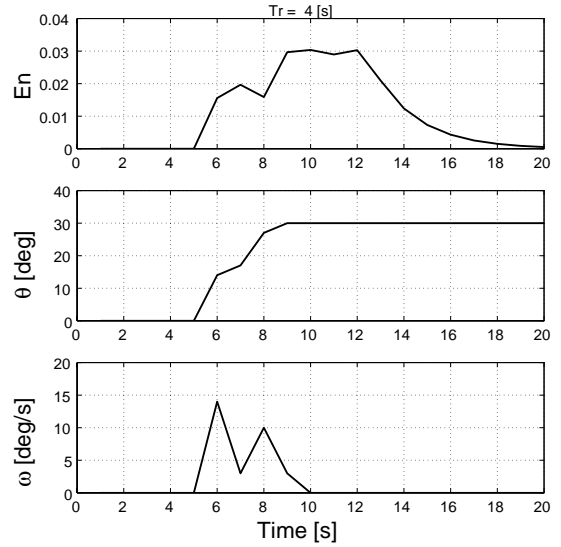


Fig. 8 Estimated ride discomfort E_n , rotational angle θ and angular velocity ω of the stretcher when the rotational duration T_r is set to 4 [s].

値 E_n を適用した。ARXモデル導出の際のAICの変化をFig.7に示す。これより、最適なARXモデルの極と零点の数は、 $na = 1$, $nb = 5$ とする。また、無駄時間を表すパラメータは、 $nk = 0$ となった。結局、得られたARXモデルのパラメータ a_i, b_j はTable 1のように求められた。

さらに、得られたARXモデルを使用して、回転時間 $T_r = 4, 6, 8[s]$ の間にストレッチャが角度 $\theta_d = 30[deg]$ 回転するときに、乗り心地の評価値を最小にするような回転パターンを探索する。各回転時間について、乗り心地の評価の最大値が最も低くなった結果をFig.8~Fig.10に示す。図中上段は正規化された乗り心地の評価値 E_n 、中段は回転角度の変化 $\theta[deg]$ 、下段は回転角速度 $\omega[deg/s]$ である。これらの図より、回転時間 T_r が長くなると、乗り心地が改善されていることがわかる。また、乗り心地を悪化させない回転パターンは、始めの1秒間は大きく回転し、その後回転速度を大きく減少させ、回転時間終了前にかけて角速度を徐々に増加させる回転パターンが理想的であるという結果が得られた。これは、角速度の最大値が最も小さ

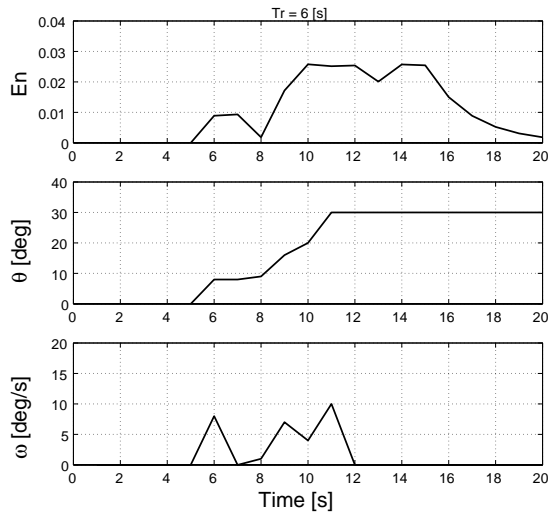


Fig. 9 Estimated ride discomfort E_n , rotational angle θ and angular velocity ω of the stretcher when the rotational duration T_r is set to 6 [s].

くなるような、直線的に回転角度を増加させる回転パターンとは大きく異なる。すなわち、乗り心地は単にゆっくり回転するだけでは改善されないことを示唆している。今後は、実際に回転移送を行ったときの乗り心地の評価を行う必要がある。

5. 結言

本報告では、ストレッチャ移送時の回転による乗り心地に変化をモデル化し、理想的な回転方法の探索を試みた。様々な条件で回転移送を体験した被験者の乗り心地評価値を実時間で求め、角速度と評価値の関係からARXモデルを導出し、得られたモデルを利用して乗り心地を悪化させない回転方法を探索した。その結果得られた理想的な回転方法は、最初の1秒間は大きく回転してから減速し、回転時間終了まで徐々に増速するパターンが理想的であるという結果が得られた。今後は、得られた回転パターンによる回転移送実験を行い、妥当性の検証を行う予定である。

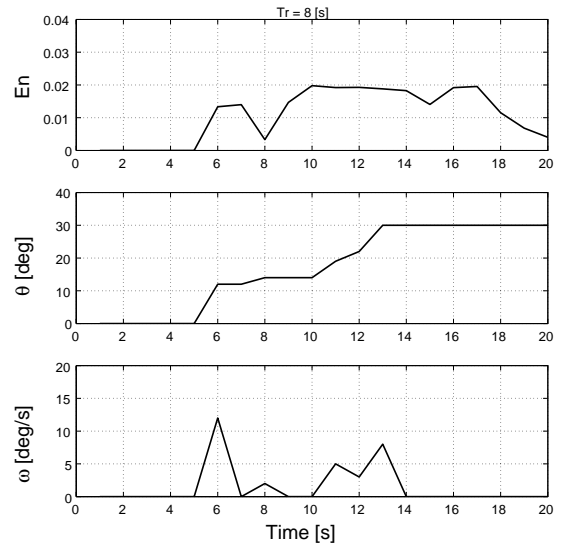


Fig. 10 Estimated ride comfort E , rotational angle θ and angular velocity ω of the stretcher when the rotational duration T_r is set to 8 [s].

参考文献

- 1) 大瀧保明, 植木, 村上, 原: ストレッチャ - 移送時の人の感覚解析, 第8回バイオエンジニアリング学術講演会論文集, pp.50-51, (1997)
- 2) 佐川 貢一, 猪岡 光, 猪岡 英二: 救急車両用アクティブ制御ベッドの血圧変動抑制の効果, 日本ME学会, 医用電子と生体工学, Vol.31, No.2, pp.183-190, (1997)
- 3) 佐川 貢一, 猪岡 光, 猪岡 英二: 救急車用アクティブ制御ベッドの開発, 日本機械学会論文集 63巻 609号 C編, pp.1533-1599, (1997)
- 4) 鈴木 浩明, 白戸 宏明, 手塚 和彦: 列車内における乗り物酔いに影響する振動特性, 人間工学, 39-6, 267/274(2003)
- 5) 王 鋒, 佐川 貢一, 石原 正, 猪岡 光: 乗り心地向上を目的とする自動車支援システム, T.IEE Japan, 122-D-7, 730/735(2002)
- 6) 王 鋒, 佐川 貢一, 猪岡 光: 自動車の加減速と乗り心地の関係に関する研究, 人間工学, 36-4, 191/200(2000)
- 7) 山岸 義忠, 猪岡 光, 王 鋒: 車輛旋回時の乗り心地についての研究, 人間工学, 39-4, 162/168(2003)
- 8) Lennart Ljung, Torkel Glad: Modeling of Dynamic Systems, pp.191-349
- 9) 佐川 貢一, 猪岡 光, 猪岡 英二: 救急車の減速時に現れる血圧変動のモデル化, 日本ME学会, 医用電子と生体工学, Vol.37, No.3, pp.260-268, (1993)
- 10) 足立 修一: MATLABによる制御のためのシステム同定, 東京電機大学出版局, (1996)
- 11) 清藤 奈菜子, 穴戸 秀壽, 内藤 隆広, 佐川 貢一: ストレッチャ移送時の回転角速度と乗り心地の関係, 計測自動制御学会東北支部第216回研究集会, 資料番号216-3, (2004)