

# 加速度条件下における車いす操作モデルの開発

## Development of Wheelchair Maneuvering Model under Acceleration Condition

今里 元信（海上技術安全研究所） 正 平田 宏一（海上技術安全研究所）  
阿曾 薫（国土交通省） 正 宮崎 恵子（海上技術安全研究所）  
太田 進（海上技術安全研究所）

Motonobu IMASATO, National Maritime Research Institute, Shinkawa 6-38-1, Mitaka-shi, Tokyo  
Koichi HIRATA, National Maritime Research Institute  
Kaoru ASO, Ministry of Land, Infrastructure and Transport  
Keiko MIYAZAKI, National Maritime Research Institute  
Susumu OTA, National Maritime Research Institute

On ships, passengers using wheelchairs are exposed to danger such as uncontrollable running due to acceleration resulted from ship motion. It is, therefore, necessary to clarify the relation between wheelchair running and acceleration to design passageways in passenger ships, for the purpose of improvement of safety and usability of ships for wheelchair users. Such relation, however, has not been clarified enough. The purpose of this research is to develop numerical model for describing wheelchair running under anticipated acceleration conditions to enable the evaluation of width of passageways necessary for preventing collision of wheel chair to a wall or other obstacles.

The authors already developed a numerical model for estimating the driving forces for wheelchair running under various acceleration conditions. To evaluate the width of passageways, in addition to the above-mentioned model, operation model, which describes action of wheelchair users, should be developed. In this paper, we propose such models.

*Key Words:* Ship Motion, Wheelchair Running, Maneuvering Model, Trajectory Estimation Model

### 1. はじめに

車いす利用者が旅客船に乗船し、船内で移動する際についてみると、船舶は波浪により動揺するため、車いすが暴走し、若しくは直進できなくなり通路の壁に当たる恐れがある。現在、交通パラフリー法技術基準では、最低通路幅を 80cm と定めている<sup>1)</sup>が、動揺状況によっては、車いすが通路の壁に当たらずに安全に走行できるとは言い難い。手漕ぎ車いすが壁に当たらず走行できるようにするためには、通路には十分な幅が必要である。このために必要な幅を求めるには、船体動揺との関係における車いすの軌跡に関する情報が必要である。船体動揺と車いすの軌跡の関係を把握するためには、動揺条件下における車いすの走行実験が不可欠である。一方、走行実験だけでは、多様な加速度条件を網羅することは不可能なため、併せて車いすの走行を模擬できるモデルも開発する必要がある。以下、外力加速度を入力とし、車いすの軌跡を出力するモデルを「船内車いす走行モデル」と呼ぶ。

本研究の目的は、この「船内車いす走行モデル」を構築することである。「船内車いす走行モデル」を構築するためには、これまでに開発した「走行モデル」<sup>2)</sup>に加え、車いすに作用させる駆動力を与えるモデルを開発する必要がある。そのため、人間の漕ぎ方をモデル化した「操作モデル」の構築が必要である。本報

では、「船内車いす走行モデル」を構築するために、「操作モデル」を開発し、車いす重心位置の軌跡を導いたことについて述べる。

### 2. 操作モデルの構築

#### 2.1 操作モデルの位置付け

船内車いす走行モデルを構築するためには、これまでに開発した走行モデル<sup>2)</sup>に加え、所与の加速度条件下において車いすに作用させる駆動力を推定するための操作モデルが必要である。そこで本報では、まず操作モデルの構築を試みた。Fig.1 に船内車いす走行モデルで用いる走行面固定の座標系と車いす固定の座標系を示す。

筆者等がこれまでに構築した走行モデルは、外力加速度と車いすの軌跡からトルクを推定する上では、多少ばらつきはあったものの有用であることがわかった<sup>2)3)</sup>。また船内車いす走行モデルでは、操作モデルにおいても体重移動はないとの仮定をおき、所与の条件下における最適なトルクを操作モデルにより求め、これを走行モデルの入力として用いるため、本操作モデルとの組み合わせにおいては、この走行モデルも車いすの軌跡の算定法として十分な機能を有すると考えられる。そのため、船内車いす走行モデルにおいては、その一部として、この走行モデルを用い

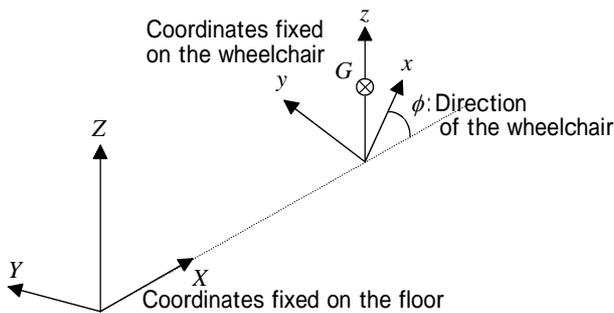


Fig.1 Coordinate system

ることとした。

## 2.2 操作モデルの仮定

本研究では、人間が手漕ぎ車いすを漕ぐ操作をモデル化するため、以下の仮定を設けて単純化した。なお、ここでいうストロークとは、推進トルクの与え始めから、次の推進トルクの与え始めまでの間とする。

- (1) 操作者は、次のストロークを行う前に、次のストローク後における車いすの向きと速さを予測する。
- (2) 1 ストロークにおける推進時間、振り戻し時間はともに 0.6sec とする。この時間は、傾斜角 3~7deg の傾斜台上における車いすの横断走行実験において、傾斜面下り側の後輪の操作より求めた平均時間である。
- (3) 1 ストロークの推進トルクの時系列は、推進時間中は実際の波形を比較的良く再現できる楕円形の上半分を表し、振り戻し時間中は零とする。
- (4) 制動トルクの時系列は 1 ストローク中一定の大きさと与えているものとし、矩形波で表す。すなわち、振り戻し時間は零とする。

またトルクは、向きの調整及び速さの調整を目的として与えることとし、以下の仮定を設けた。

- (5) 設定速さは 0.6m/sec とし、速さの調整では設定速さに近づくようにする。この値は横断走行実験において計測した定常走行中の平均速さである。なお、走行開始時における不自然な加減速の操作を排除するため、走行開始直後の 1 ストローク終了時における設定速さは 0.36m/sec とする。
- (6) 向きの調整では目標位置への向きのずれを小さくし、旋回角速度が過大にならないようにする。

外力加速度については、以下の 2 つのモデルを開発した。

- (7-1) 外力加速度はストローク開始時のまま一定とする。(以下、加速度一定操作モデルと呼ぶ。)
  - (7-2) 外力加速度は完全に予測できているものとする。(以下、加速度予測付操作モデルと呼ぶ。)
- (7-2)の仮定は、船舶の動揺加速度の周期に対し、1 ストローク 1.2sec の時間は短いため、概ね予測可能とすることは必ずしも非現実的ではないと考え、簡単のため設けたものである。

## 2.3 評価関数

1 ストロークにおけるトルク(推進及び制動)を仮定すれば、スト

ローク開始前の車いすの状態(向き、速さ等)及び想定された加速度条件より、1 ストローク終了後の車いすの状態を予測することができる。操作モデルは、この 1 ストローク終了後の車いすの状態に基づく評価関数(少ない方が目標に近い)を設定し、当該ストロークにおけるトルクの仮定を変化させることにより、この評価関数が最小になるトルクを求めるものである。

車いすの操作は人間が行うものであり、本操作モデルは、目標位置に向けて機械的に真っ直ぐ走行するためのものではなく、外力に応じて多少蛇行しながらも目標位置に向かうものとする。そこで、前項の仮定(5)、(6)は、速さ  $V$  の調整については(1)式、向き  $\phi$  の調整については(2)式のような評価関数  $Q_v$ 、 $Q_\phi$  で表すこととする。

$$Q_v = (V_{set} - V_{next})^2 \quad (1)$$

$$Q_\phi = (\phi_{next} - C \cdot \dot{\phi}_{next})^2 \quad (2)$$

ここで、(1)式の  $V_{set}$  は設定速さ、 $V_{next}$  はストローク終了時における車いすの状態に関する予測計算から得られた速さである。(2)式の  $\phi_{next}$ 、 $\dot{\phi}_{next}$  は、それぞれストローク終了時における車いすの状態に関する予測計算から得られた目標位置への向き及び旋回角速度である。また  $C$  は向きのずれと旋回角速度に対する重み付け定数である。

予測計算において、それぞれ仮の値を持つ左右トルクを、一定刻みごとに増減変化させて入力し、各々の評価値  $Q_v$  と  $Q_\phi$  を求め、これらの和が最小となるときに左右トルクを、真の左右トルクの値とし、左右後輪に与えるトルクとした。

実験結果と計算結果を比較し、調整した結果、本操作モデルでは、 $C$  として 0.1 秒を用いた。なお、この値については、別途検討を要すると考えられる。

## 3. 船内車いす走行モデルの検証

### 3.1 傾斜台走行実験

傾き 5 度の右下がりの傾斜面上を、計測用車いす<sup>4)</sup>で約 5m を横断走行した場合の計測結果と、同一の加速度条件下における船内車いす走行モデルの計算結果を Fig.2 に示す。なお実験においては、比較的操縦に慣れている筆者の一人が被験者となった。Fig.2(a)は計測したトルクの時系列を、Fig.2(b)は本操作モデルより計算したトルクの時系列を、Fig.2(c)は計測した速さと、本操作モデルより計算したトルクを入力として計算した速さの時系列を表している。また Fig.2(d)は XY 平面上の車いす重心位置の軌跡を表している。図中、実線は右トルク並びに実験結果を、破線は左トルク並びに計算結果を示している。なお、この実験では走行面に対する外力加速度は一定であるため、加速度一定操作モデルと加速度予測付操作モデルは、同じ計算結果を示す。

図より、実際の走行では右後輪に推進トルクを与え、左後輪に制動トルクを与え続けることで、できるだけ真っ直ぐ走行していることがわかる。一方、本操作モデルも実験同様、右後輪に推進トルクを与え、左後輪に 1 ストローク中一定の制動トルクを与えることで、X 方向 5m 先の目標位置に向かうような結果となった。しか

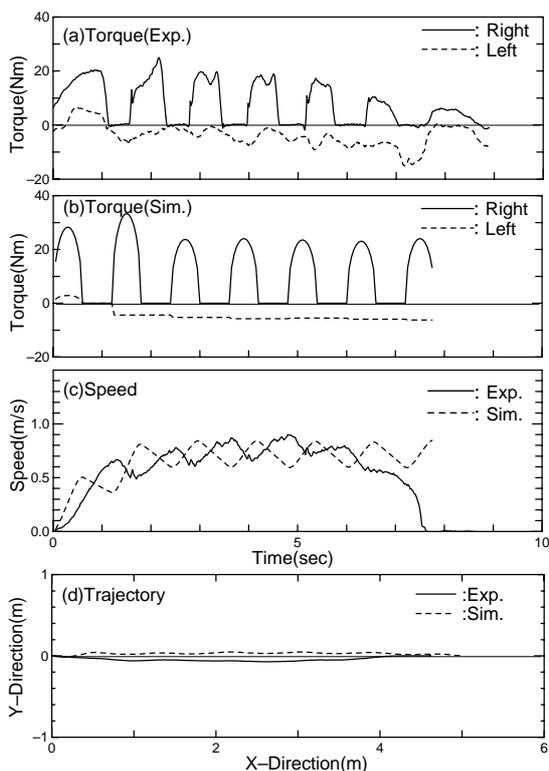


Fig.2 Example of experiments on inclined platform and simulation

し、軌跡について見ると、計算結果の方が、やや左側を走行しており、実験結果のやや右側走行と一致しているとは言い難い。これは、予測計算において右側への回頭防止のために、計算ではやや左側を走行する結果になったと考えられる。また推進トルクの与え方、特に制動操作が実験では複雑であるのに対して、本操作モデルではこれを単純化したことにより、実験走行における操作を十分に表せていないことも考えられる。さらに実験での車いす走行時には体重移動が起きないように操作に努めたものの、実際には体重移動により、車いすの回頭を小さくし、できるだけ真っ直ぐ走行するように操作してしまったことも、計算結果が実験結果と異なる原因の一つと考えられる。なお、 $X$  軸に対する  $Y$  方向のずれ(以下、「振れ幅」と呼ぶ。)についてみると、実験における最大振れ幅は 7cm、計算における最大振れ幅は 5cm となった。

### 3.2 実船実験

船内車いす走行モデルを検証するため、北米航路のコンテナ船に乗船し、航行中、体育室において車いすの走行実験を行った。実験は計測用車いす<sup>4)</sup>を主に左舷から右舷方向、船尾から船首方向と、その逆方向に、直進させることを意識しながら走行させ、左右後輪のトルクならびに回転角度を計測した。同時に体育室床面上で 3 方向加速度を計測した。これらの実験についても、車いすによる走行には比較的慣れている筆者らが行った。

計測結果と計算結果を Fig.3 に示す。これは左舷側から右舷方向へ走行した結果である。図中、(a), (b), (c)は  $XYZ$  方向の加速度の時系列を表しており、車いすの走行開始時の向きを  $X$  方向とした。(d)はトルクの計測結果、(e)は加速度一定操作モデル

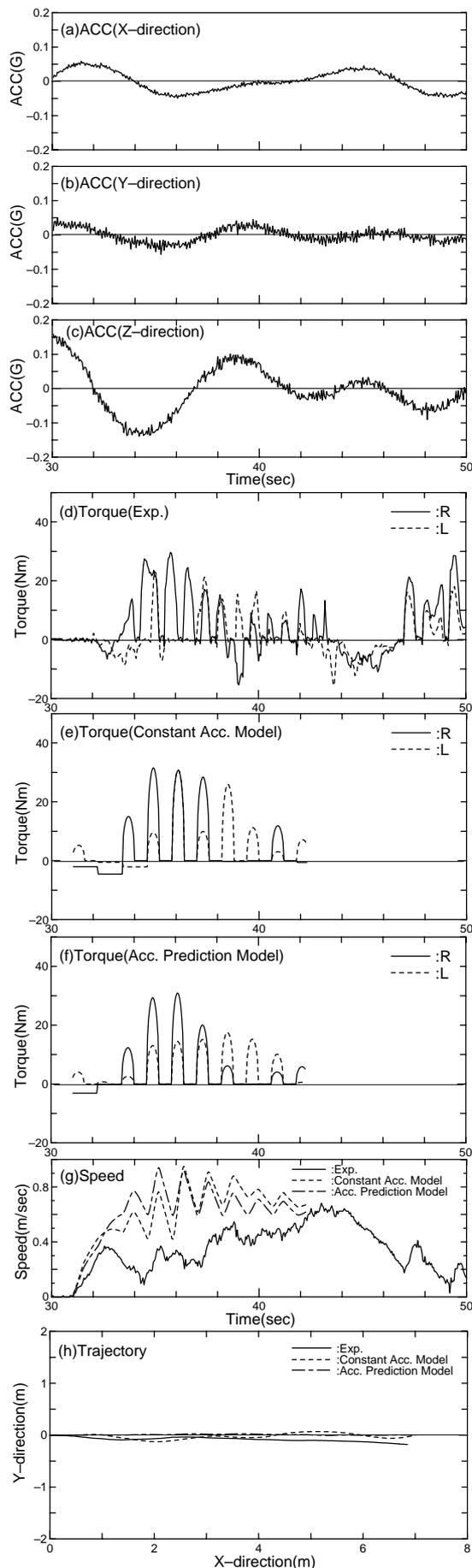


Fig.3 Example of experiments on ship and simulation (from Port to Starboard)

により計算したトルク、(f)は加速度予測付操作モデルにより計算したトルク、(g)は速さの計測結果とそれぞれの計算結果の時系列を表している。(h)はXY平面上の車いす重心点の軌跡を表している。

トルクの時系列をみると、走行開始直後36sec付近では、Fig.4(b)からわかるように、約3deg相当の外力加速度が右向きに印加されているため、車いすの操作では、計測結果からわかるように左後輪に比べて右後輪の方に、より大きな推進トルクが与えられている。ストロークの時間やトルクの大きさは異なっているが、本操作モデルも、左後輪に比べて右後輪により大きな推進トルクを与えている。Fig.4(g)、(h)は、加速度一定操作モデルによるトルクを用いて計算した結果を破線で表しており、加速度予測付操作モデルによるトルクを用いて計算した結果を一点鎖線で表している。Fig.4(h)で示した軌跡についてみると、加速度一定操作モデルを用いた場合、計算結果は実験結果が一致しているとは言い難い。また加速度予測付操作モデルを用いた場合は、左右に振れずに直進するような結果となった。このように計算結果と実験結果が異なるのは、走行開始時の外力加速度が約2.5deg左下がり相当かつ約3deg前下がり相当であり、実験では走行開始直後(32sec付近)に複雑な制動操作を行っているのに対し、計算では制動操作を単純化しており、その結果、大きな左回頭が避けられなかったことによると考えられる。そのため、以降のトルクならびに軌跡の計算結果も実験結果と異なったものと考えられる。なお、最大振幅幅についてみると、実験では18cm、加速度一定操作モデルでは13cm、加速度予測付操作モデルでは3cmであった。

### 3.3 考察

これまでに構築した船内車いす走行モデルに実船実験時の加速度を入力し、実船内での走行計測結果との比較を行った。その結果は、走行際のトルク(推進及び制動)が、外力加速度に応じて大きさを変えながら左右後輪に与えられることを表しているものの、車いす重心位置の軌跡は、実験結果と一致しているとは言い難い。また、実験結果よりも計算結果の振幅の方が小さくなった。これは今回構築した操作モデルは、加速度一定操作モデルであっても、実際の人間の操作と比較して、過剰に最適化されているためと考えられる。したがって、操作モデルの最適化の条件を緩和すれば、船内車いす走行モデルの有効性は一層向上する可能性があるが、今後の課題である。

一方、車いす利用者の身体的条件は多様であるため、様々な車いす利用者の操作を一つのモデルで表すのは適当でない。このことを考慮すれば、本操作モデルは、多様な操作の一例を示すものと位置付けるべきであり、実験結果と計算結果の不一致は、直ちに本操作モデルの有効性を否定するものではないと考えられる。

よって、今回構築した船内車いす走行モデルは、任意の加速度条件下において、車いすの軌跡を概略推定するのに役立つと言える。

### 4. おわりに

旅客船内における車いす利用者の安全を確保に資するため、船体動揺と車いす走行時の軌跡を推定する技術の開発を試みた。そのため、これまでに構築した走行モデルに加えて操作モデルを開発し、船内車いす走行モデルを構築した。その結果、動揺下における車いす重心位置の軌跡を計算することが可能になり、このモデルを用いて最大振幅を求めることにより、車いすが安全に走行できるための通路幅を推定することができるであろうことを示した。この船内車いす走行モデルは、車いす走行時の安全確保のための設計情報の提供に役立つ可能性があると考えられる。

本走行モデルは、実際の車いす走行に比べて、車いすの操作を過剰に最適化していると考えられる。そのため、最適化の条件を緩和することにより、さらに実際の操作を的確に表す操作モデルが構築できると考えられ、今後の課題である。より実際の車いす走行に近い計算結果を与えるモデルが完成すれば、車いすの通行を考慮した船室設計などについても利用できるものと考えられる。

最後に実船実験を行うにあたり、ご協力頂いた日本郵船株式会社ならびにコンテナ船の乗組員の方々にお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1)「旅客船バリアフリー～設計マニュアル」、交通エコロジー・モビリティ財団、(2000.12)。
- 2)今里元信ほか: 旅客船内における車いすの走行シミュレーション-駆動力推定用基本モデルの開発-、(社)日本航海学会論文集第105号、pp.35-41(2001.9)。
- 3)今里元信ほか: 旅客船内における車いすの利用について、(社)日本機械学会第10回交通・物流部門大会講演論文集、pp.337-340(2001.12)。
- 4)平田宏一ほか: 船舶バリアフリーのための実験用車いすの開発、(社)日本設計工学会2001年度春季研究発表講演会論文集、pp.103-106(2001.5)。
- 5)宮崎恵子ほか: 船舶における手動車いす走行の評価指標、第16回リハビリ工学カンファレンス2001、日本リハビリテーション工学協会、pp.169-172(2001.8)。
- 6)Rory A. Cooper, 田中 理, 大鍋寿一監訳: 車いすのヒューマンデザイン、医学書院(2000.8)。
- 7)水口文洋, 大鍋寿一: 片流れ横断歩道の手動車いすによる横断シミュレーション、第16回リハビリ工学カンファレンス2001、日本リハビリテーション工学協会、pp.53-56(2001.8)。