

ドレミハンドルにおける一音階に対する角度幅が カーブ走行の上達に与える影響の調査

渡邊健斗¹ 松田さゆり¹ 大石琉翔¹ 中川由貴¹ 中村聡史¹ 小松孝徳¹
鳥居武史² 澄川瑠一² 高尾英行²

概要：自動車の初心者ドライバにとって、カーブ走行は操舵の量やタイミングが感覚的で習得が容易ではない。我々はこれまでの研究において、操舵角に応じた音を鳴らすことで運転を支援する手法ドレミハンドルを提案してきた。実験の結果、通常ハンドル群に比べドレミハンドル群の修正舵が有意に減り、ドレミハンドルが運転を支援する可能性が示唆された。しかし、現在の90度で1オクターブ音階が上がるという設計の妥当性については検証されていない。そこで本稿では、一音階に割り当てる角度幅が狭い方が操舵角の変化をより敏感に知覚できるため、修正舵が減少しやすいという仮説のもと、比較実験を行った。具体的には、角度幅が半分の群と倍の群の2群に分けて実験を行った。ここで、これまで行った実験と設計を統一し、通常の角度幅群とも比較および分析を行うことで、急なカーブでは角度幅が半分のものが、緩いカーブでは角度幅が通常のものが適しているということを明らかにした。

キーワード：操舵角、修正舵、音階、運転

1. はじめに

初心者ドライバにとって、カーブや斜面、交差点などの運転は容易ではなく、苦手意識をもつ人が多い。我々のこれまでの調査[1]では、自動車運転免許を保有する初心者ドライバの23%が運転を苦手であると回答し、そのうちの52%がハンドル操作を難しいと回答していた。

ここで、カーブ走行はハンドル（ステアリングホイール）の操作が特に重要な運転技能のひとつであるが、走行中は道路の先が見えづらく、ハンドル操作のタイミングや量は視覚と腕の感覚に委ねられている。このカーブ走行を習得するためには、様々なカーブを数多く運転することで経験を積み感覚を掴むことが重要である。しかし、初心者ドライバにはその経験が少なく、またハンドル操作に苦手意識をもっていることが多いため、カーブ走行に問題を抱えやすい。

これらの問題は人に指導してもらうことで改善する可能性があるが、指導者の確保や時間的制約、指導者との相性などから改善が容易ではない。カーブ走行の支援として、運転

中に視覚的な情報で適切なハンドル操作のタイミングや量などの提示を行うことも考えられる。しかし、自動車の運転では標識や交通状況など多くの情報を視覚から取得し、それらに注意して運転する必要があるため、視覚的な情報を増やしてしまうと認知負荷が高くなり、事故の危険が増す恐れがある。

こうした問題を踏まえ、我々[1]は、運転初心者のカーブ走行習得を支援することを目的とし、操舵角（ステアリングホイールの回転角度）に応じて離散的に音階のサイン波を鳴らす「ドレミハンドル」（図1）を提案してきた。また、実験デザインを再検討し行った追実験の結果、ドレミハンドルがカーブ走行を支援する可能性が示唆された[2]。ここで、従来のドレミハンドルでは操舵角が90度で1オクターブ音階が上がるように設計していたが、その妥当性については検討していなかった。例えば、一音階に割り当てる角度幅が狭い方が操舵角の変化をより敏感に気付くことができるため、修正舵が減少しやすくなるのではないかと考えられる。

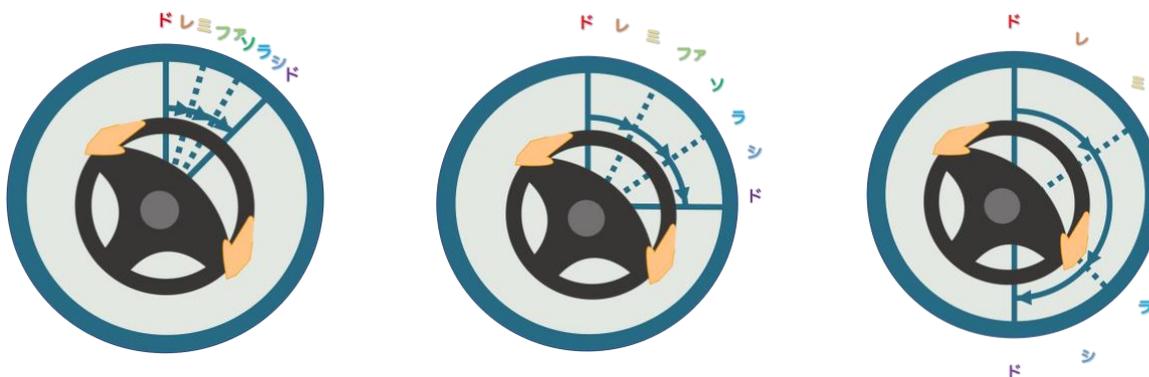


図1 ドレミハンドルのイメージ図

(左：音階幅が狭いドレミハンドル，中：音階幅が通常のドレミハンドル，右：音階幅が広いハンドル)

1 明治大学
Meiji University
2 株式会社SUBARU
SUBARU CORPORATION

そこで本研究では、ドレミハンドルにおける一音階に割り当てる角度幅（以後「音階幅」と呼ぶ）がカーブ走行に与える影響を調査する。具体的には、操舵角が45度で1オクターブ、180度で1オクターブ音階が上がるドレミハンドルを用いて同様の実験をし、これまで行った実験における通常の音階幅群と比較および分析することで、適切な音階幅について考察する。

2. 関連研究

2.1 数値データの可聴化

数値データの大きさを音で表現する研究は様々なものがある。奥川ら[3]はサイクルスポーツにおいて、回転速度を聴覚的にフィードバックする手法を提案し、回転速度の分散を減少させることに成功した。浅野ら[4]は、グラフの上昇傾向や下降傾向などの形状を表現する手法として、対象となるデータの最大値・最小値に最も高い音と低い音を割り当てる方式や、対象となるデータがとる可能性のある最大値・最小値に最も高い音と低い音を割り当てる方式を提案している。しかし、実際にどのような効果があるかについては十分な検証は行われていない。

Bruceら[5]は、数値データの大きさを音階で表現することによって数値の大きさを感覚的に理解することを可能とした視覚障害者のためのアプリケーション AudioAbacus を提案している。また実証実験の結果、このアプリケーションを使用したユーザが、ほとんど練習やトレーニングをすることなく音声化された数字の桁数を判断することができることを明らかにしている。

我々の研究は、こうした研究と同じく数値の可聴化に着目し、ハンドルの操作量を音階にマッピングすることで、カーブの運転の上達を支援するものである。

2.2 音階を用いた聴覚フィードバック

音階を用いた聴覚フィードバックにより、人の行動などの支援を行う研究も多数行われている。木村[6]は、糖尿病などにより末梢神経に障害をもった患者が、正常な歩行を再学習する必要があるという問題に着目し、圧力センサのフットスイッチを用いた聴覚フィードバック装置により、失った感覚を補うシステムを開発している。具体的には、フットスイッチは母趾球と踵に貼り、踵だけの感知で「ド」、踵と母趾球の両方の感知で「レ」、母趾球のみの感知で「ミ」が鳴るものである。実際の患者による実験の結果、この装置の使用により、進行方向を見ることができるようになったことを明らかにしている。

前川ら[7]は、視覚障害者が色模様の面の中でどのように色が変化しているのかを認識するために、事前に色のRGBと音階を心理的屬性に考慮してマッピングしておき、色の変化をリアルタイムに音の変化で提示する色模様認識システムを提案している。また、患者に協力してもらった実験

の結果、様々な色模様において識別することが可能で、音から色名を特定可能な場合もあったと述べている。

このように音階を用いた聴覚フィードバックに関する研究は様々に行われてきており、その有用性もあることが明らかになっている。我々の研究は、ハンドルの操舵角を音階にマッピングし、絶対的・相対的にハンドルの操舵角を把握可能とするものである。

2.3 運転支援における聴覚フィードバック

聴覚フィードバックにより、運転技能を向上させる研究も多数行われている。

澄川ら[8]は車両挙動の安定化を目的として、車両挙動の変化を可聴化し、ドライバの運転行動を誘導するシステムを提案している。具体的には車両挙動の不安定時に常時高音が鳴る仕組みと、安定時に報酬音が鳴る仕組みを実現しており、実験によりどちらの音刺激も具体的な運転方法を指示することなく運転行動を誘導し、車両挙動を安定化させる可能性を示唆している。また、ドライバへの負担度合いから、報酬音が鳴る聴覚刺激の方が車両挙動を安定化させる効果が高い可能性も示唆している。

鬼丸ら[9]は、車の左右位置を両耳音圧差により、定量的にリアルタイムでフィードバック提示するシステムを提案している。ここでは、ホワイトノイズの有無と不連続に2値変化するものを定量的に連続変化するもので比較実験を行い、定量的に連続変化する刺激が運転負荷を増加させずに離脱距離を減少させることを明らかにしている。

このように、運転においても聴覚フィードバックを利用した支援は様々研究されている。我々の研究も、こうした研究と同様に運転を支援するものであるが、その中でも特にカーブ運転におけるハンドル操作の上達を目指すものである。

3. 実験

本稿では、「ドレミハンドルにおいて、一音階に割り当てる角度幅が狭い方がハンドル操舵角の把握解像度が高くなり修正舵が減少しやすい」という仮説を検証するため、ドレミハンドルの音階に対応する幅が従来の半分のもの、倍のものそれぞれで修正舵回数がどの程度減少するかを比較する。

3.1 音階幅が異なるドレミハンドルの実装

本稿では新たに音階幅が異なる2種類のドレミハンドルを実装した。具体的には、従来のドレミハンドルが90度で1オクターブ音階が上がるのに対し、45度で1オクターブ上がる音階幅が狭いドレミハンドル、180度で1オクターブ上がる音階幅が広いドレミハンドルである。3種類のドレミハンドルの操舵角と音階の関係を表1に示す。

3.2 実験設計

運転は天候、時間帯、人通りなど、他の外的要因によっ

表1 操舵角と音階の関係

音階 (周波数[Hz])	ハンドル操舵角 (度)		
	音階幅が広いドレミハンドル	音階幅が通常のドレミハンドル	音階幅が狭いドレミハンドル
ド (261.6)	0.00 ~ 6.43	0.00 ~ 12.86	0.00 ~ 25.71
レ (293.7)	6.43 ~ 12.86	12.86 ~ 25.71	25.71 ~ 51.43
ミ (329.6)	12.86 ~ 19.29	25.71 ~ 38.57	51.43 ~ 77.14
ファ (349.2)	19.29 ~ 25.71	38.57 ~ 51.43	77.14 ~ 102.86
ソ (392.0)	25.71 ~ 32.14	51.43 ~ 64.29	102.86 ~ 128.57
ラ (440.0)	32.14 ~ 38.57	64.29 ~ 77.14	128.57 ~ 154.29
シ (493.9)	38.57 ~ 45.00	77.14 ~ 90.00	154.29 ~ 180.00
ド (523.2)	45.00 ~ 51.43	90.00 ~ 102.86	180.00 ~ 205.71

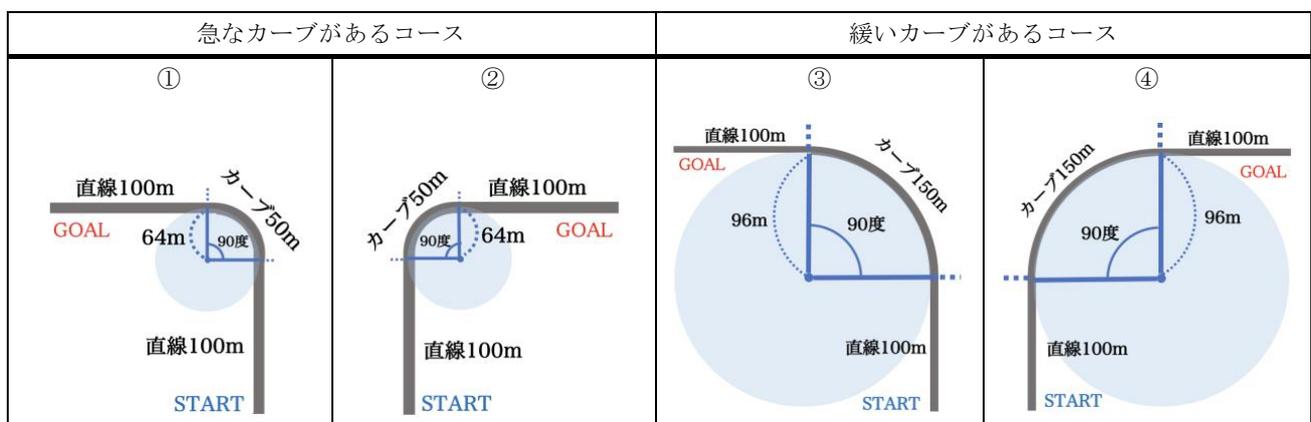


図2 使用したカーブの経路図

て走行方法が大きく変化するため、これまでの研究[2]と同じく、実験条件を統一するために、Funazakiら[10]のドライビングシミュレータを改良したものをを用いた。

実験で使用したコースの概要を表2、経路を図2に示す。全て道幅5mで、間に直角に曲がるカーブを設置した。カーブ半径はこれまでの研究[2]と同様2種類、左カーブと右カーブを合わせた合計4種類のカーブを用いた。また、システムを用いることによる修正舵回数の変化などを調査するために、実験を3つのフェーズ(ベース・練習・テスト)に分けた。

詳細を以下に説明する。

- ベース走行: 実験参加者の練習をする前の実力を調査するためのもので、2種類のカーブを左右2本ずつ(合計8本)走行してもらう。
- 練習走行: 実験参加者にシステムを利用しつつカーブを練習してもらうためのもので、2種類のカーブを左右5本ずつ(合計20本)走行してもらう。
- テスト走行: 実験参加者の成長を計測するためのもので、2種類のカーブを左右2本ずつ(合計8本)走行してもらう。なお、実験参加者にはテスト走行としてテストを行うことを説明する。

実験では、ベース走行における修正舵回数を1として正

規化したときのテスト走行における修正舵回数などを計算し、その結果による比較でドレミハンドルの音階幅の違いによる差を明らかにする。

3.3 実験手順

実験では、実際に走行する前に、走行するコース、実験の流れ、実験における注意事項の説明をPowerPointのスライドを用いて行った(図3)。注意点の説明では、運転には修正舵というハンドルを切り足したり、切り戻したりすることを指すものがあり、それが少ない方がよい運転とされているため注意して欲しいことを伝えた。また、ガードレールにぶつかるなどのエラーを恐れて通常の運転ができなくなってしまうことを避けるため、実験参加者には運転速度が遅くなりすぎないように、具体的には目安として30km/h以上の速度を出すように指示した。

表2 予備実験に使用したコース概要

全体長 (m)	カーブ長 (m)	カーブ半径 (m)	カーブ角度 (度)
250	50	32	90
250	50	32	-90
350	150	96	90
350	150	96	-90

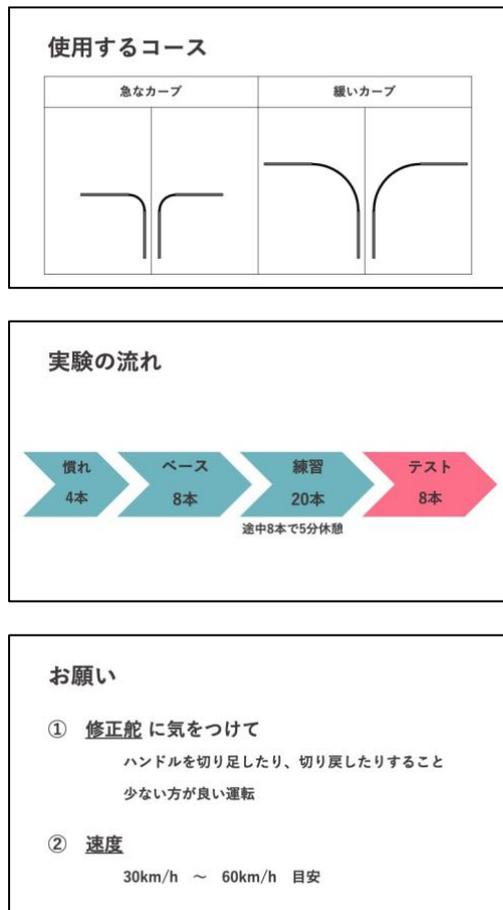


図3 説明に使用した PowerPoint

実際の走行では、まず実験参加者にドライビングシミュレータに慣れてもらうために、事前に2種類のカーブを左右1本ずつ(合計4本)走行してもらった。その後、ベース走行、練習走行に取り組んでもらい、5分の休憩を挟んでテスト走行に取り組んでもらった。

全てのフェーズで、カーブの種類はランダムな順番で走行してもらった。また実験参加者は事前に音階幅が狭いドレミハンドル群と広いドレミハンドル群とに分けられ、各指定のハンドルモードで実験を行ってもらった。なお、実験参加者には、カーブ走行の際にハンドルの角度に合わせて音が鳴ることも教示した。

実験は事前説明から測定終了まで1人あたり約50分を要した。実験参加者は今までにドライビングシミュレータに乗ったことのない大学生、大学院生の24名(男性17名、女性7名)であり、全員自動車運転免許を所持していた。ここで、実験参加者のうち2名は実験条件が統制できておらず正しい分析ができなかったため、分析対象から除外した。分析対象となる22名の実験参加者の中で、頻りに運転する高頻度運転者は10名、運転の頻度が少ない低頻度運転者は12名であった。なお、各群への割り振りにおいて、高頻度運転者と低頻度運転者の割合が同程度になるようにした。

4. 結果

4.1 評価指標

上手なカーブ走行の一要素である操舵の安定性を評価するために、ハンドル操作修正量である修正舵回数と、ハンドル操作の速度であるハンドルの平均角速度について分析を行う。また、実験終了後に実施したアンケートの結果から主観評価の分析を行う。

4.2 客観的な指標による分析

修正舵についてはさまざまな計算方法が考えられるが、今回もこれまでの実験[2]と同じように、時間ごとのハンドル操舵角の微分値の正負が入れ替わった場合を修正舵としてカウントした。なお、今回の実験コースでは、カーブに入る際にハンドルを切り、直線に戻る際にハンドルを切り戻すため、最もスムーズな走行でも最低1回は修正舵回数としてカウントされることとなる。

ここで、これまでの実験[2]における1回の修正舵でのハンドル操作量について分析したところ、ハンドル操作量が3度未満の細かい修正舵はどの試行でも頻繁に発生しており、技量に影響していないことがわかった。そのため、今回の分析ではハンドル操作量が3度未満の細かい修正舵についてはカウントしないこととした。

本実験では、「ドレミハンドルにおいて、一音階に割り当てる角度幅が狭い方がハンドル操舵角の把握解像度が高くなり修正舵が減少しやすい」という仮説を立てたため、3つのフェーズ(ベース・練習・テスト)に分けている実験の中で、ベース走行を1とした時のテスト走行での修正舵回数を比較および分析する。ベース走行およびテスト走行では、1種類のコースにつき2本ずつ走行してもらったが、走行ごとにブレがあったため、2本のうち修正舵回数が少ない方の走行をベストなものとして計算に使用することとした。

図4は、ベース走行を1とした時の、テスト走行での修正舵回数について、ドレミハンドルの有無と音階幅ごとに

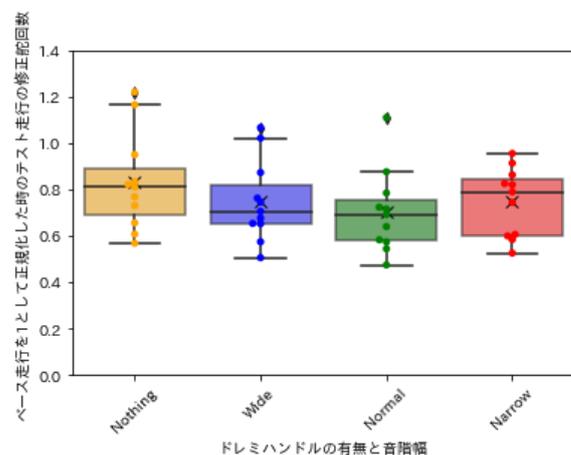


図4 テスト走行における修正舵回数の比較

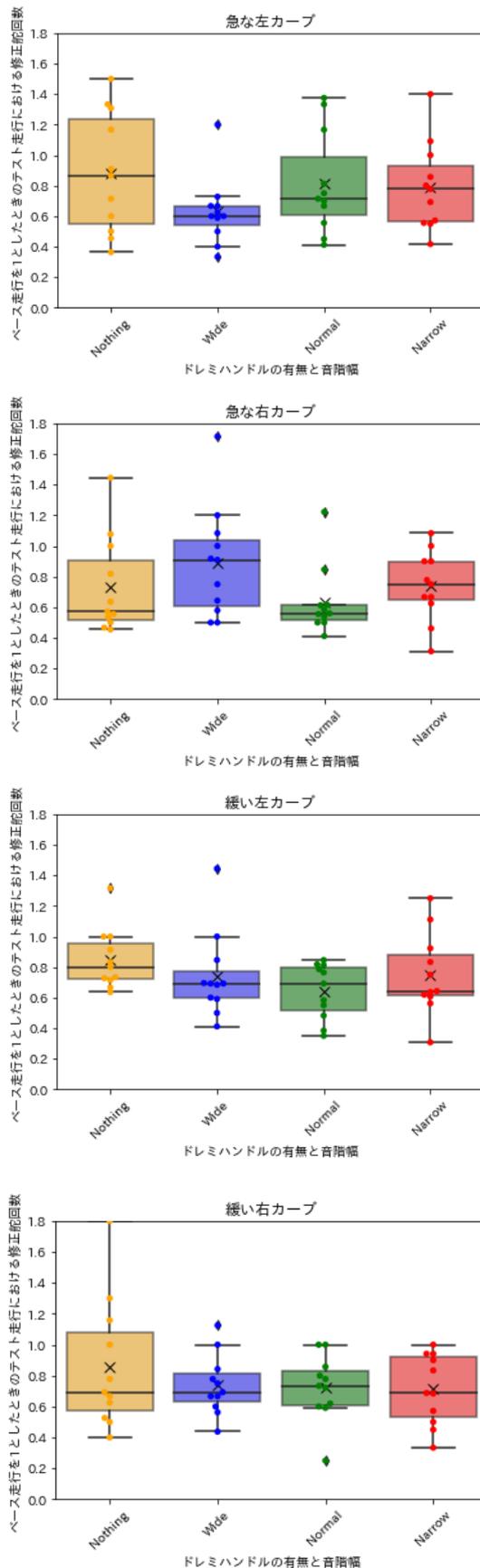


図5 テスト走行における修正舵回数の比較

箱ひげ図を用いて比較したものである。なお、これ以降、図中の **Nothing** はドレミハンドルなし、**Wide** は音階幅が広いドレミハンドル、**Normal** は音階幅が通常のドレミハンドル、**Narrow** は音階幅が狭いドレミハンドルを意味している。図より、いずれの音階幅においても、ドレミハンドルを使用しない場合より修正舵が減少していることがわかる。また、ドレミハンドルを使用した群のうち、音階幅が通常の群、広い群、狭い群の順に修正舵が減少していることがわかる。ここで、ドレミハンドルの有無と音階幅について、一要因参加者間分散分析（要因：ドレミハンドルの有無と音階幅（なし/狭い/通常/広い）を行ったところ、有意差は確認されなかった。

次に、コースの種類ごとに分けて同様に分析したものを図5に示す。図は上から順に、急な左カーブ、急な右カーブ、緩い左カーブ、緩い右カーブについて、縦軸にベース走行を1としたときのテスト走行における修正舵回数を示している。この結果より、音階幅が狭い群はどのコースにおいても分散が大きく、音階幅が広い群は急な左カーブ、音階幅が通常の群は急な右カーブにおいて特に修正舵が減少していることがわかる。また、緩い左カーブにおいても、音階幅が広い群、通常の群ともにドレミハンドル無し群より修正舵が減っていた。しかし、分散分析を行ったところ、有意な差はみられなかった。

図6は1試行あたりのハンドルの平均角速度（以下、ハンドル角速度とする）において、ベース走行を1としたときのテスト走行でのハンドル角速度をドレミハンドルの使用有無と音階幅によって比較したものである。ここで、ハンドルの平均角速度とは、ハンドル操作の速度のことで、小さい方が緩やかにハンドルを操作しているため、運転技術が高いといえる。この図より、いずれの音階幅においても、ドレミハンドルを使用しない場合よりハンドル角速度が減少する傾向がみられた。ドレミハンドルを使用した群のうち、音階幅が通常の群、狭い群、広い群の順にハンドル角速度が減少しており、修正舵回数におけるものと順序が異なっていることがわかる。

4.3 主観評価による分析

実験後に運転に関するアンケート調査を行い、カーブの曲がりやすさなどについて1~5の5段階評価（評価値が大きいほど運転しやすい）で回答してもらった。図7は、急なカーブと緩いカーブそれぞれにおけるアンケートの評価結果を箱ひげ図を用いて比較したものである。この結果より、急なカーブと緩いカーブにおける評価平均は、ともに音階幅が通常の群が最も高く、その他の群は同程度であることがわかる。ここでそれぞれのカーブにおいて、有意水準が1%の一要因参加者間分散分析（要因：ドレミハンドルの有無と音階幅（なし/狭い/通常/広い）を行ったところ、緩いカーブにおいて有意差が確認された。ここで、緩いカーブについてテューキー検定を行ったところ、音階幅が通

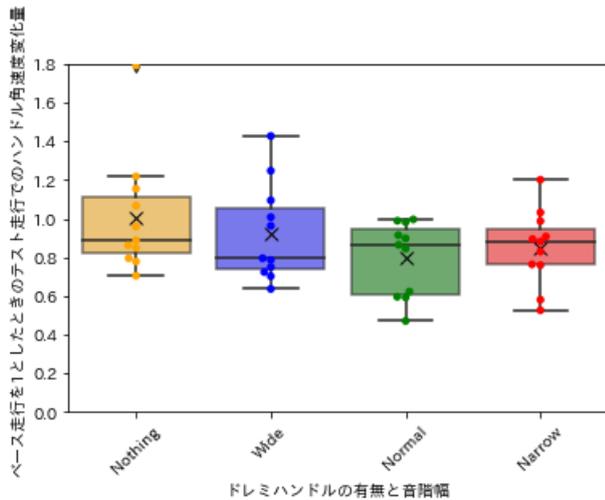


図6 テスト走行におけるハンドル角速度の比較

常の群と狭い群で 1%水準での有意差が確認され、通常の群とドレミハンドルを使用しない群で 5%水準での有意差が確認された。

5. 考察

分析結果をもとに、ドレミハンドルの有無と音階幅の違いによる運転行動への影響について考察を行う。

5.1 ドレミハンドルの有無と音階幅による影響

4.2 節で得られた修正舵回数に関する分析より、ドレミハンドルの音階幅の違いで修正舵回数に有意差はみられなかった。しかし、カーブの種類ごとに分けて分析した結果、音階幅による違いがみられるものがあつた。カーブの種類ごとに、ベース走行を1としたときのテスト走行の修正舵回数が少ない音階幅が異なっていることから、カーブの種類ごとに適切な音階幅が異なる可能性があるといえる。ここで、カーブの種類ごとにおける音階幅による運転行動の違いを、ハンドル操作と速度の平均から分析する。なお、ドレミハンドルの使用による影響を考察するため、テスト走行についてのみ分析する。

まず、カーブ付近における各音階幅でのハンドル操舵角の絶対値の平均を図8に示す。図から、急なカーブと緩いカーブともに、左カーブの方が右カーブより不安定なハンドル操作をしていることがわかる。特に緩い左カーブにおいて、カーブに差し掛かりハンドルを切る際に、どの音階幅でも必要以上に切りすぎてしまい切り戻すという傾向がみられる。全てのコースについて分析した際に差があまりみられなかったのは、左カーブの方が右カーブに比べ運転難易度が高いことが原因であり、左カーブをより支援する必要があると考えられる。

ここで左カーブに注目すると、急なカーブで音階幅が広い群が最も修正舵が減少していることから、急なカーブにおいては広い音階幅が適切であるといえる。また緩いカー

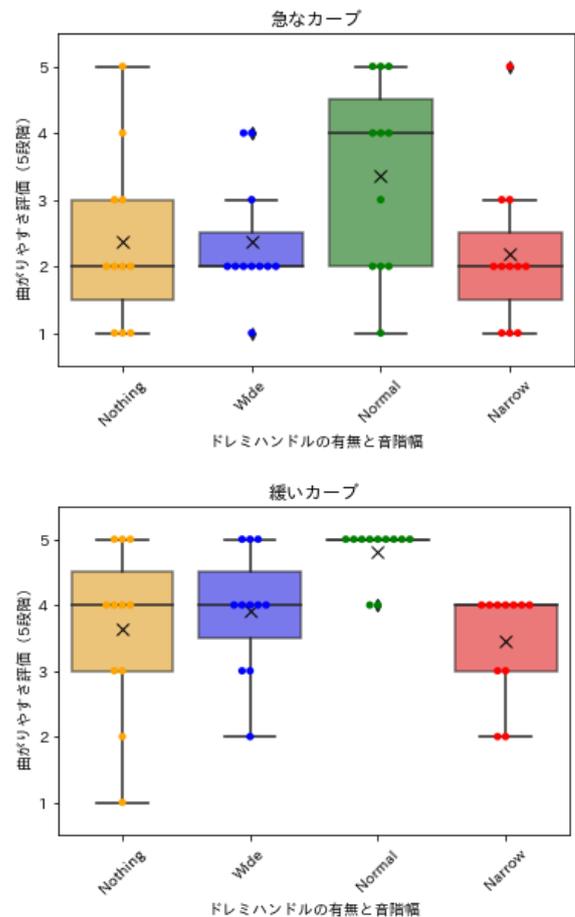


図7 カーブの曲がりやすさ

ブで通常の音階幅が最も修正舵が減少していることから、緩いカーブにおいては通常の音階幅が適切であるといえる。このようにカーブ半径によって適切な音階幅が異なるのは、カーブ半径によって必要なハンドル操作量や速度も異なるため、音の高さや変化の速さが異なるためだと考えられる。音階幅が狭い群については、どのコースでも修正舵があまり減少しない傾向にある。これは音階幅が狭すぎるため却ってドライバを混乱させてしまい、上達の妨げになったと考えられる。

次に、コース全体における各音階幅での速度の平均を図9に示す。いずれのコースにおいても、音階幅が通常の群が最も速く、狭い群が最も遅いことがわかる。特に緩いカーブにおいて音階幅による差が顕著である。音階幅が狭い群が他の群に比べて速度が遅くなってしまったのは、少しのハンドル操作でドレミの音が変化してしまうため、そのハンドル操作に対してより敏感になってしまい、ドレミ音の変化するようなハンドル操作が起きにくくするように速度を抑制しようとしてしまったのではと考えられる。この点については、どの程度ドレミの音が気になったのかなどを今後調査することで検証していく予定である。

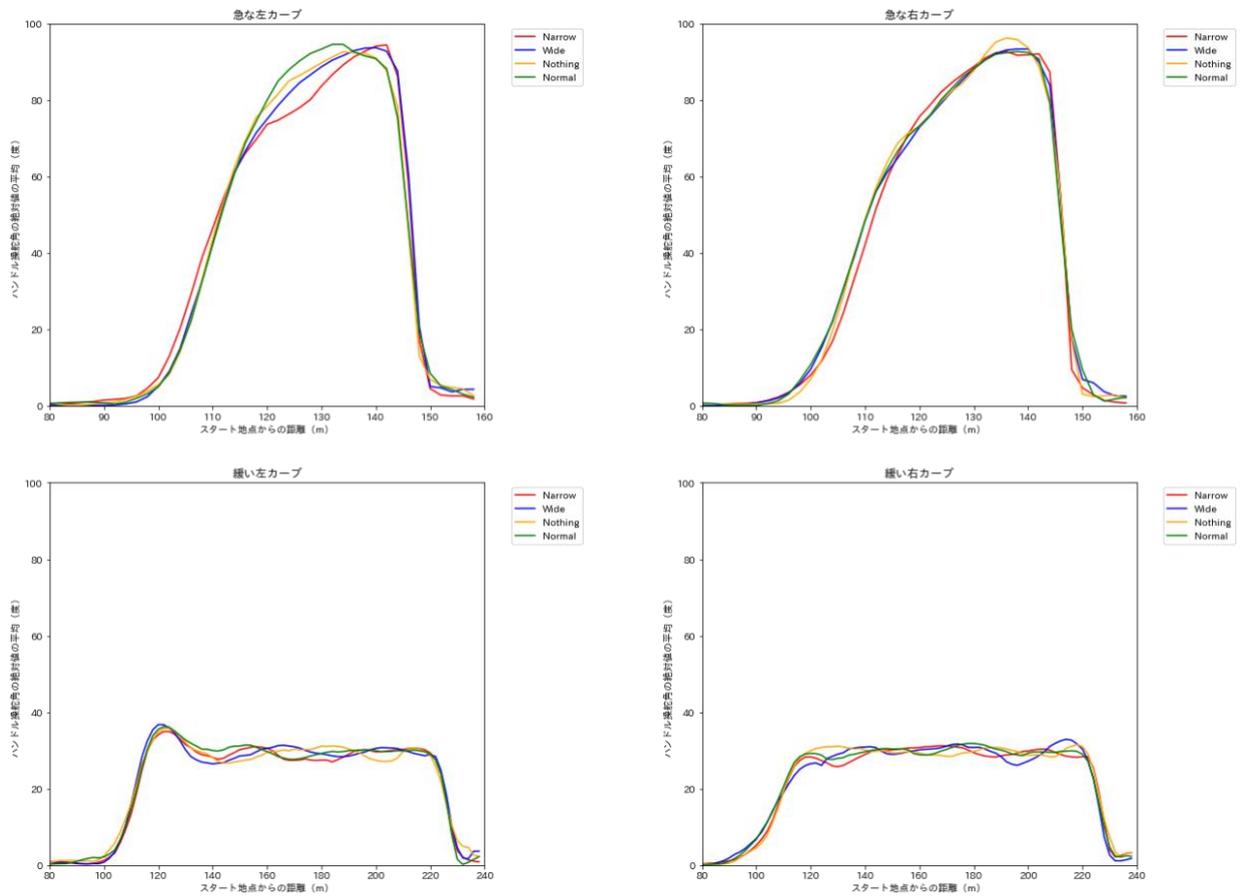


図8 テスト走行におけるハンドル操舵角の平均

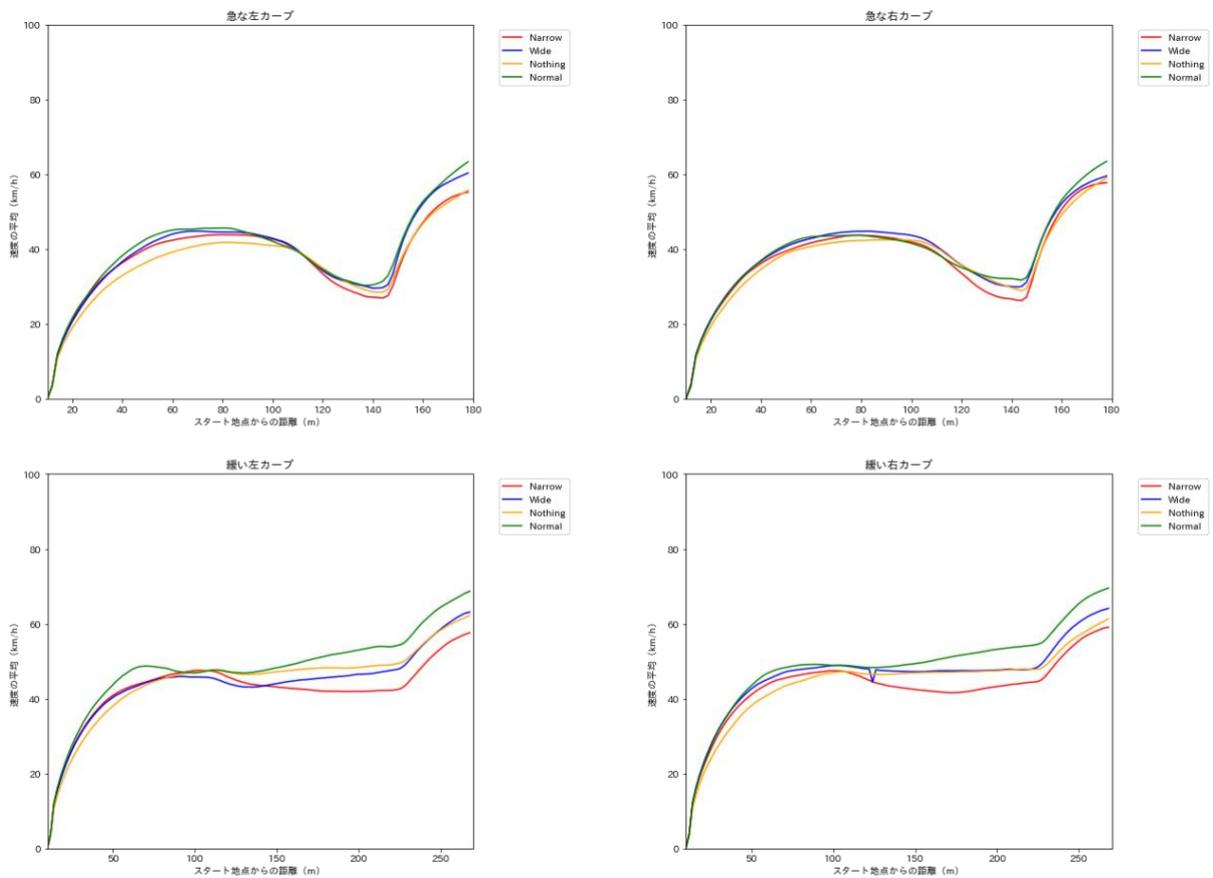


図9 テスト走行における速度の平均

主観評価の結果より、急なカーブと緩いカーブのどちらにおいても音階幅が通常の群が最も曲がりやすいと感じていることがわかる。音階幅が広い群と狭い群の主観的な曲がりやすさは、ドレミハンドルを使用しない群と同程度であった。音階幅が広い群の、緩いカーブにおける曲がりやすさが高くなかった理由は、「ド」または「レ」の音までしかハンドルを回さなかったため、ドレミハンドルの影響をそれほど受けなかったためと考えられる。音階幅が狭い群においては、音階幅が狭すぎるためどちらのカーブでも音の変化が激しくなってしまったため悪い評価につながったものと考えられる。

5.2 適切な音階幅の検討

全体としては客観的指標、主観評価ともに音階幅が通常のドレミハンドルが最も適切であるといえる。またコースごとに適切な音階幅が存在し、特に運転難易度が高いと考えられる左カーブにおいては、急なカーブでは音階幅が広いものが適しており、緩いカーブでは音階幅が通常のもので良いということがわかった。これらを踏まえると、走行するカーブにおける適切な操舵角で「ファ」の音が鳴るように音階幅を設定すると良いと考えられる。実際に、実験後のアンケート調査で、音階幅が広い群からは緩いカーブでは音を細かくして欲しいというフィードバックが、音階幅が狭い群からは音が細かすぎてよくわからなかったというフィードバックが得られた。

一方、今回の実験では3種類の音階幅しか検討できておらず、さらに適切な音階幅が存在する可能性がある。また、今回の実験では複数種のカーブをランダムに走行したため、毎回目標とする音が異なっていたが、カーブに応じて動的に音階幅を制御しドライバは常に同じ音を目標にハンドルを回すようにすることで、さらに上達する可能性がある。今後は、音階幅のバリエーションを増やし、カーブに応じて適切に音階幅を制御するドレミハンドルを実装したうえで、有用性を実験により検証予定である。

6. まとめ

我々はこれまで、運転初心者にとって難易度が高いカーブ走行の習得を支援するため、操舵角を音により感覚的に把握可能とするドレミハンドルを提案してきた。複数種のカーブをランダムで走行してもらった実験を行ったところ、ドレミハンドルと通常のハンドルとで修正舵回数に有意差が確認されたが、ドレミハンドルの音階幅についての検証はしていなかった。

そこで本稿では、「ドレミハンドルにおいて、一音階に割り当てる角度幅が狭い方がハンドルの角度の把握解像度が高くなり修正舵が減少しやすい」という仮説のもと、音階幅が異なる2種類のドレミハンドルを実装し同様の実験を行った。その結果、音階幅の違いによる修正舵回数に有意

差はみられなかったが、カーブの種類ごとに適切な音階幅が存在する可能性が示唆された。

今回の実験でカーブの種類ごとの適切な音階幅を検討したが、3種類の音階幅のみでしか検討できていないことから、より適切な音階幅が他に存在する可能性がある。そのため、今後は音階幅のバリエーションを増やすなどして、さらに適切なドレミハンドルの設計を模索していく予定である。一方、運転中に提示しても問題ないような聞き馴染みのある音を模索したり、音を鳴らす区間を適切にしたりするなど、音のデザインについても検討することで、結果的な数値だけでなく主観的にもカーブ走行の習得を支援可能なシステムを目指す。さらに、実車でも検証を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Sayuri Matsuda, Yukina Funazaki, Takanori Komatsu, Naoto Matsuyama, Yuki Nakagawa, Satoshi Nakamura, Hideyuki Takao, Ryuichi Sumikawa, and Takeshi Torii. DoReMi Steering Wheel: Proposal for a Driving Assist System with Sound Display Depending on the Rotation Angle of Steering Wheel. KES2022, 2022.
- [2] 松田さゆり, 中川由貴, 船崎友稀奈, 渡邊健斗, 大石琉翔, 中村聡史, 小松孝徳, 鳥居武史, 澄川瑠一, 高尾英行. ドレミハンドル: 操舵角に応じた音提示手法の複数種のカーブを用いた検証. 情報処理学会 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI). 2022, vol. 2022-HCI-200, No.8, pp. 1-8.
- [3] 奥川遼, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦. 聴覚フィードバックを利用したペダリングトレーニングシステム. 日本ソフトウェア科学会第22回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2014)論文集, 2016, vol. 33, no. 1, pp. 41-51.
- [4] 浅野真介, 橘賢二, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰. 音階を用いたグラフ形状の表現システム. 情報科学技術フォーラム一般講演論文集, 2005, vol. 2, no. 1, pp. 123-124.
- [5] Bruce N. Walker, and Jeffrey Lindsay Justion Godfrey. The Audio Abacus: Representing Numerical Values with Nonspeech Sound for the Visually Impaired. Proc. of The Sixth International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, 2004, pp. 9-15.
- [6] 木村和樹. 圧力センサのフットスイッチを用いた聴覚フィードバック装置の開発と信頼性. 日本義肢装具学会誌, 2016, vol. 32, no. 1, pp. 45-49.
- [7] 前川満良, 今井有希子, 関啓明, 神谷好承, 橋爪慎哉. 視覚障害者のための色模様認識システムの開発. 精密工学会学術講演会講演論文集, 2004, 2004年度精密工学会春季大会, no. 25, pp. 1229-1230.
- [8] 澄川瑠一, 鳥居武史. 直線とカーブ走行時の車両挙動の変化を用いた聴覚刺激による運転行動の誘導に関する研究. 自動車技術学会誌, 2021, vol. 75, no. 6, pp. 112-117.
- [9] 鬼丸真一, 北崎充晃. 光強度と音圧による位置フィードバック情報がドライビングシミュレータの運転に及ぼす効果. 基礎心理学研究原著論文, 2013, vol. 32, no. 1, pp. 2-13.
- [10] Yukina Funazaki, Noboru Seto, Kota Ninomiya, Kazuyuki Hikawa, Satoshi Nakamura, and Shota Yamanaka. Driving Experiment System Using HMDs to Measure Drivers' Proficiency and Difficulty of Various Road Conditions, HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. HCII 2022, 2022, vol. LNCS 13335, pp. 247-257.