

複数タイヤのデータ群から同定する 「統計タイヤモデル」

“Statistical Tire Model” Identified from Data Group of Multiple Tires

鈴木 朋和*

Tomokazu SUZUKI

日下 馨*

Kaoru KUSAKA

要 旨

車両開発初期の性能設計検討に用いるタイヤのシミュレーションモデルとして、「統計タイヤモデル」を開発した。これは多数の既存タイヤの性能、特性のデータ群を統計的にモデル化したもので、タイヤサイズや諸元などの値を入力し性能と特性の値を定量的に推定するモデルである。従来の一般的タイヤモデルと異なり、この統計タイヤモデルは、一つのモデルで、サイズや諸元の異なる多数のタイヤの特性を、データ計測とモデリングをおこなわずとも推定することができる。

ABSTRACT

A statistical tire model has been developed. This tire simulation model is for use in the feasibility study of performance design at the initial stage of vehicle development. Using this method, existing data sets for the performance and characteristics of multiple tires are statistically modeled. The model is available to estimate values for tire performance and characteristics based on the input values for specifications such as tire size. By contrast with conventional tire models, the statistical tire model is able to estimate the characteristics of multiple tires of differing sizes and specifications using a single model without the measurement and modeling of data for each single tire.

1. はじめに

1.1. 背景

車両開発の初期段階で、目標性能を設定する工程を性能設計という。近年 CAE の開発比率が高まるとともに、開発初期段階の性能設計を体系的かつ高精度におこなうことがより重要となっている。

タイヤは性能設計の重要な要素の一つであり、車体レイアウト、操縦安定性、ブレーキ性能、乗心地、静粛性および燃費など、完成車性能や商品性に大きな影響を与える。タイヤに求められる複数の特性は相互に影響し、時に相反するため、それらをより高いレベルでバランス良く実現することが求められる。

また、開発途中のタイヤサイズの大幅な変更は車体レイアウトや車両全体の性能に与える影響が大きい可能性があるため、初期段階で十分な精度と広範囲の検討をおこないタイヤの諸元を決定することが望ましい。

1.2. 従来のタイヤモデルのアプローチ

性能設計に用いるタイヤモデルには、実験式モデル、物

理モデルと、その一種である有限要素法 (FEM) モデルなどがある (Table 1)。

実験式モデルは実験データを近似式でカーブフィットしたものである。Magic Formula はその代表例で、機構解析や走行性能シミュレーションなどに多用されている。物理モデルは SWIFT, FTire などに代表されるタイヤの物理的現象を理論式で記述するモデルで、部分的に実験式や実験同定係数を用いる場合が多い。FEM モデルは詳細構造の CAD モデルにより特性を求めるものである。モデル検証やコリレーションには、実際のタイヤの実験データを使用する場合が多い^{(1), (2)}。

これらはいずれも、サイズ別、空気圧別、荷重別などの条件別実験データからそれぞれの特性をモデル化するものが主流である。こうしたモデルを車両の運動性能や、操縦安定性などをはじめとする性能設計の初期段階で使用する上で、タイヤサイズや使用条件を変えて性能検討する際には、それぞれの条件ごとに同定したモデルを使う必要があるが、現実には検討に用いるサイズ、条件のタイヤモデルを事前に全て用意することは困難であり、また過去にデータが存在しないサイズのタイヤを装着した場合の車両性能

*四輪 R&D センター

Table 1 Tire models for vehicle dynamics simulation

Model type	Application	Tire size effect simulation	Source data	Arbitrary tire size characteristic estimation
Experimental model	Statistical model	Single model for any size	Multi-tire data group	Available
	Magic Formula, etc.	Separate model for each size	Single tire data	Not available
Theoretical model	Brush model SWIFT, FTire etc.	Separate model for each size	Single tire data	Not available
	FEM model	Separate model for each size	Single tire data	Not available

を予測し検討することも求められている。

これらの課題に対して、重要度が高いものはタイヤの実験測定およびモデル化をおこなうほか、類似特性のタイヤモデルで代用したり、類似モデルを推定に基づいて修正したりして対応しているが、性能設計の精度、効率の向上および比較検討範囲の拡充のためには、個々のタイヤのデータ測定とモデル化を経ずに、さまざまなサイズ、諸元のタイヤの特性を推定できるタイヤモデルが求められている。

2. 新しいタイヤモデル開発の概要

2.1. コンセプト

前述の課題の解決には、単一のモデルで多種類サイズ、条件のタイヤの特性が推定できることが求められる。これに対し、単一タイヤのデータから同定する実験式モデルを、多数のサイズや種類のタイヤを含んだデータ群から同定するモデルに拡張することで、サイズや諸元の異なるタイヤの特性を推定できるタイヤモデルを得られると考えた (Fig. 1)。

2.2. 統計的モデリングの手法

このようなモデルを実現するため、システム同定手法を用いて、多数のサイズや諸元のタイヤを含むデータ群から単一の多変数近似式モデルを作成した。システム同定とは、入力 (説明変数) と、出力 (目的変数) の間のシステム特

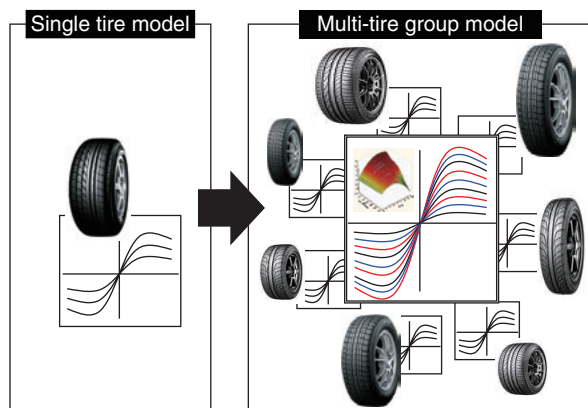


Fig. 1 New tire model from tire data group

性を物理的法則性を考慮しつつ統計的に同定するものである⁽³⁾。その流れは以下に示すとおりである (Fig. 2)。

- (1) 先験情報 (既知の知見) を基にしたモデル式の仮定
- (2) 実験データを用いた近似式係数の同定
- (3) 誤差の評価によるモデル精度の検証
- (4) 妥当な精度を得るまでモデルの修正を反復
- (5) 近似式に係数を導入しモデルを確定

この手法はモデリング全般に広く用いられている。入出力の関連性を近似式でモデル化するという点では、単一タイヤの実験式モデルと同じであるが、サイズの異なる多数のタイヤのデータ群からひとつのモデルを同定する点異なる。これによって、一般的に単一タイヤのモデルには含まれていない、サイズと諸元に関する変数を入力として与えてタイヤ特性を推定することが可能となる (Fig. 3)。

この手法を過去に蓄積されている既存のデータ群に適用することで、多様なサイズ、諸元のタイヤ特性を推定するモデルが得られる。

このようなタイヤモデルを「統計タイヤモデル」と名付けて適用に向けて検討を進め、これまでに本手法を用いて、コーナリングパワー CP 、縦バネ剛性 k_z 、セルフアライニング剛性 $SATS$ 、横力特性 F_y 、転がり抵抗 RR などのタイヤ特性のモデル化と、Magic Formula モデルの統計的な生成に応用する検討をおこなった。本稿では代表的な適用例である「統計 CP モデル」を中心にその概要を紹介する。

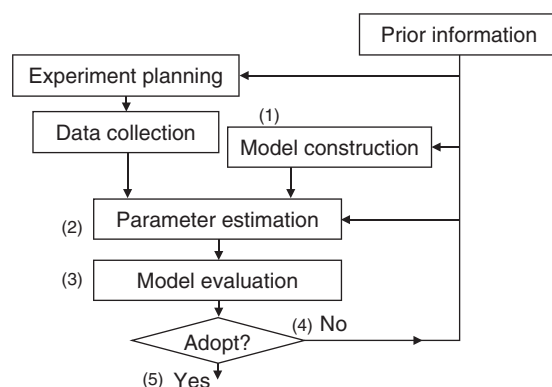


Fig. 2 System identification flow chart

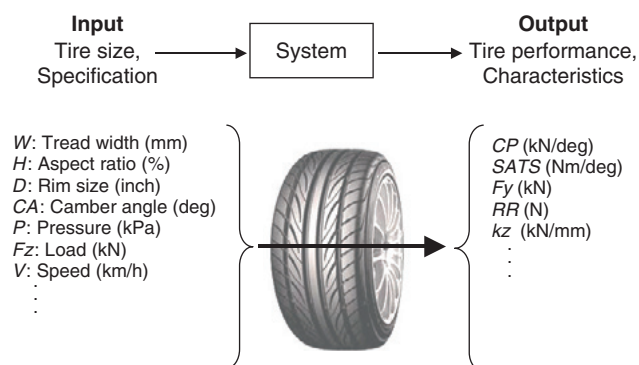


Fig. 3 System identification parameters

3. 統計 CP モデル

3.1. 統計 CP モデルの価値

タイヤの CP はタイヤ横滑り角の単位角あたりに発生する横力を表わし、車両の操縦安定性などに影響を与える重要なタイヤ特性の一つである。また、 CP の荷重依存性とは垂直荷重 F_z に対する CP の変化特性を表すが、この特性が前後重量配分に応じた前後タイヤ力の割合を変えることから、車両のステア特性に与える影響が大きく、重要な特性の一つである。

タイヤサイズはこの CP 特性に強い影響を与える要素の一つで、車両の運動性能、操縦安定性などを左右する要因となるため初期の性能設計段階で定量的に検討することが重要である。また、タイヤサイズは、ブレーキ性能、乗心地、燃費、静粛性など多くの車両特性にも影響を与えるので、それらについても同時に勘案し検討をおこなうことが求められる。

以上のように、車両の運動性能を検討するためには多様なサイズのタイヤの CP 特性を推定し、計算検討をおこなう必要がある。タイヤサイズを与えて CP を推定できる統計 CP モデルを用いれば、初期の性能設計の段階で、目標とする車両性能を達成できるタイヤサイズの検討を効率的におこなうことが可能となる。

3.2. 統計 CP モデルの作成

タイヤ CP と、タイヤの基本的因子であるタイヤ幅 W 、偏平率 H 、ホイール径 D 、内圧 P 、 F_z の関係を明らかにするため、約 130 種のタイヤ実験データについて単回帰分析をおこなった結果を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。

一般的に知られているように、タイヤは、幅の拡大、低偏平化、大径化により CP が高くなる傾向が現れており、これらはおおよそ線形の傾向となることが示されている (Fig. 4)。

また Fig. 5 からは、 F_z に対し CP が 2 次関数的に振る舞い、高荷重で CP が飽和するという特徴も観察される。

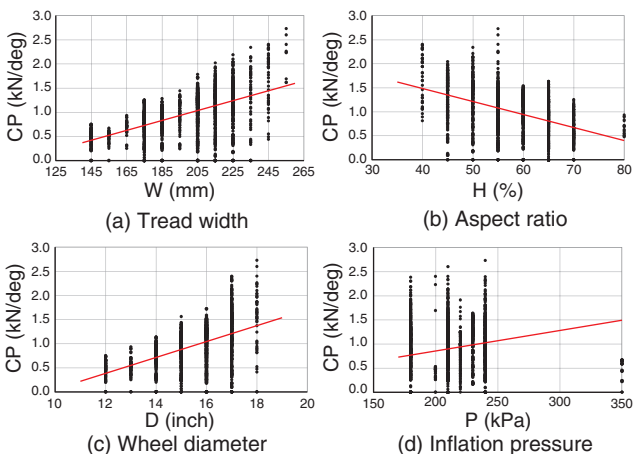


Fig. 4 CP relation to tire size parameters

このように単回帰分析にタイヤの持つ一般的な特性は現れているが、初期性能検討でサイズから CP 特性を推定するには、回帰直線もしくは回帰曲線と実験データとの乖離が大きく、精度が十分とはいえない。そこで変数間の重相関を調べるため、 F_z と W に対する CP 変化を観察した一例を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 からはタイヤが幅広化するほど荷重ゼロ付近における CP の立ち上がりが急峻となり、 CP が飽和する荷重も高荷重側にシフトしていることが確認でき、 CP の F_z に対する 2 次的な振る舞いがタイヤ幅 W などの関数になっていることを示唆している。

さらに、 CP の実験データを F_z と W 、 H 、 D 、 P に対してプロットし、滑らかな曲面関数で近似した結果を Fig. 7 に

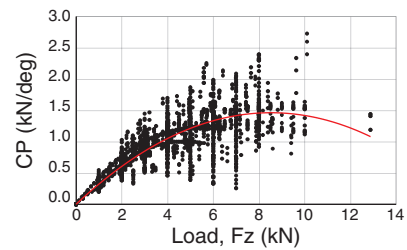


Fig. 5 CP relation to tire load, F_z

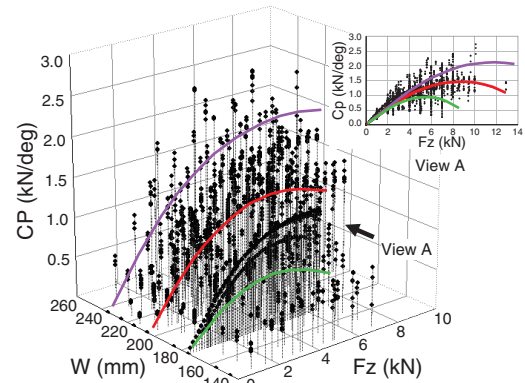


Fig. 6 CP relation to both F_z and W

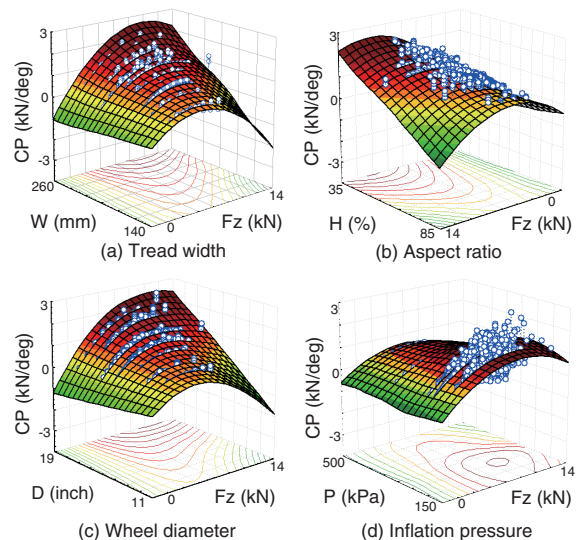


Fig. 7 CP contribution to F_z and tire size parameters

示す。得られた近似曲面は Fz に関して 2 次関数的なカーブを描き、その曲率とピーク位置は W, H, D, P に対してほぼ 1 次関数的に変化するものであった。

以上の考察から、 CP の重回帰モデルの関数式を以下のように仮定した。今、 CP が Fz の 2 次関数で近似され、その曲率を A 、最大値を与える Fz を B とすると CP は式 (1a) で表され、さらに $Fz = 0$ の時 $CP=0$ を仮定すると、 CP の近似関数は式 (1b) で示される。

$$CP = A(Fz - B)^2 + C \quad (1a)$$

$$CP = A(Fz^2 - 2BFz) \quad (1b)$$

ここで変数を以下のように置き換えると、

$$\begin{aligned} A &= \alpha \\ -2AB &= \beta \end{aligned}$$

曲率とピーク位置が W, H, D, P に対して 1 次関数的に変化する CP の重回帰モデルは式 (2) のように表すことができる。 $a, b, c, \dots, j$ は重回帰モデル係数を表す。

$$\left. \begin{aligned} CP &= \alpha \cdot Fz^2 + \beta \cdot Fz \\ \alpha &= aW + bH + cD + dP + e \\ \beta &= fW + gH + hD + iP + j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで

W : Tread width, mm

H : Aspect ratio, %

D : Rim diameter, inch

P : Inflation pressure, kPa

Fz : Normal load, kN

$a, b, \dots, j$: Coefficients of model

である。

次に、係数 $a, b, c, \dots, j$ を、実験データ $CP_i, W_i, H_i, D_i, P_i, Fz_i$ から、最尤推定法を用いて同定した。このモデルと n 個の実験データの誤差関数 J は式 (3) となる。

$$\begin{aligned} J &= \sum_{i=1}^n \{ CP_i - CP(a, b, c, d, e, f, g, h, i, j / W_i, H_i, D_i, P_i, Fz_i) \}^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \{ CP_i - (aW_i Fz_i^2 + bH_i Fz_i^2 + cD_i Fz_i^2 + dP_i Fz_i^2 + eFz_i^2 \\ &\quad + fW_i Fz_i + gH_i Fz_i + hD_i Fz_i + iP_i Fz_i + jFz_i) \}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

この J が最小となるように、重回帰モデル係数 $a, b, \dots, j$ を定めるため、 J を各係数で偏微分して 0 と置いた 10 個の線型偏微分方程式を連立させてこれを解く。係数 a の場合を具体例に挙げると、

$$\frac{\partial J}{\partial a} = 0 \rightarrow a = \tilde{a} \bigg|_{\frac{\partial J}{\partial a} = 0} \quad (4)$$

故に誤差の最小条件を与える偏微分方程式は式 (5) になる。同様に係数 $b, c, d, e, f, g, h, i, j$ の偏微分方程式を連立させると、式 (6) のように線型行列方程式が得られる。 A, b は実験データを与えると数値行列となるので、これより重回帰モデル係数 x は直接的に導出することができる。

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n \left[CP_i - (aW_i Fz_i^2 + bH_i Fz_i^2 + cD_i Fz_i^2 + dP_i Fz_i^2 + eFz_i^2 + fW_i Fz_i + gH_i Fz_i + hD_i Fz_i + iP_i Fz_i + jFz_i) \right]^2 = 0 \quad (5)$$

$$Ax = b, \therefore x = A^{-1}b \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} \sum W_i^2 Fz_i^4 & \sum W_i H_i Fz_i^4 & \sum W_i D_i Fz_i^4 & \sum W_i P_i Fz_i^4 & \sum W_i Fz_i^4 & \sum W_i^2 Fz_i^3 & \sum W_i H_i Fz_i^3 & \sum W_i D_i Fz_i^3 & \sum W_i P_i Fz_i^3 & \sum W_i Fz_i^3 \\ \sum W_i H_i Fz_i^4 & \sum H_i^2 Fz_i^4 & \sum H_i D_i Fz_i^4 & \sum H_i P_i Fz_i^4 & \sum H_i Fz_i^4 & \sum W_i H_i Fz_i^3 & \sum H_i^2 Fz_i^3 & \sum H_i D_i Fz_i^3 & \sum H_i P_i Fz_i^3 & \sum H_i Fz_i^3 \\ \sum W_i D_i Fz_i^4 & \sum H_i D_i Fz_i^4 & \sum D_i^2 Fz_i^4 & \sum D_i P_i Fz_i^4 & \sum D_i Fz_i^4 & \sum W_i D_i Fz_i^3 & \sum H_i D_i Fz_i^3 & \sum D_i^2 Fz_i^3 & \sum D_i P_i Fz_i^3 & \sum D_i Fz_i^3 \\ \sum W_i P_i Fz_i^4 & \sum H_i P_i Fz_i^4 & \sum D_i P_i Fz_i^4 & \sum P_i^2 Fz_i^4 & \sum P_i Fz_i^4 & \sum W_i P_i Fz_i^3 & \sum H_i P_i Fz_i^3 & \sum D_i P_i Fz_i^3 & \sum P_i^2 Fz_i^3 & \sum P_i Fz_i^3 \\ \sum W_i Fz_i^4 & \sum H_i Fz_i^4 & \sum D_i Fz_i^4 & \sum P_i Fz_i^4 & \sum Fz_i^4 & \sum W_i Fz_i^3 & \sum H_i Fz_i^3 & \sum D_i Fz_i^3 & \sum P_i Fz_i^3 & \sum Fz_i^3 \\ \sum W_i^2 Fz_i^3 & \sum W_i H_i Fz_i^3 & \sum W_i D_i Fz_i^3 & \sum W_i P_i Fz_i^3 & \sum W_i Fz_i^3 & \sum W_i^2 Fz_i^2 & \sum W_i H_i Fz_i^2 & \sum W_i D_i Fz_i^2 & \sum W_i P_i Fz_i^2 & \sum W_i Fz_i^2 \\ \sum W_i H_i Fz_i^3 & \sum H_i^2 Fz_i^3 & \sum H_i D_i Fz_i^3 & \sum H_i P_i Fz_i^3 & \sum H_i Fz_i^3 & \sum W_i H_i Fz_i^2 & \sum H_i^2 Fz_i^2 & \sum H_i D_i Fz_i^2 & \sum H_i P_i Fz_i^2 & \sum H_i Fz_i^2 \\ \sum W_i D_i Fz_i^3 & \sum H_i D_i Fz_i^3 & \sum D_i^2 Fz_i^3 & \sum D_i P_i Fz_i^3 & \sum D_i Fz_i^3 & \sum W_i D_i Fz_i^2 & \sum H_i D_i Fz_i^2 & \sum D_i^2 Fz_i^2 & \sum D_i P_i Fz_i^2 & \sum D_i Fz_i^2 \\ \sum W_i P_i Fz_i^3 & \sum H_i P_i Fz_i^3 & \sum D_i P_i Fz_i^3 & \sum P_i^2 Fz_i^3 & \sum P_i Fz_i^3 & \sum W_i P_i Fz_i^2 & \sum H_i P_i Fz_i^2 & \sum D_i P_i Fz_i^2 & \sum P_i^2 Fz_i^2 & \sum P_i Fz_i^2 \\ \sum W_i Fz_i^3 & \sum H_i Fz_i^3 & \sum D_i Fz_i^3 & \sum P_i Fz_i^3 & \sum Fz_i^3 & \sum W_i Fz_i^2 & \sum H_i Fz_i^2 & \sum D_i Fz_i^2 & \sum P_i Fz_i^2 & \sum Fz_i^2 \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \\ i \\ j \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} -\sum W_i Fz_i^2 CP_i \\ -\sum H_i Fz_i^2 CP_i \\ -\sum D_i Fz_i^2 CP_i \\ -\sum P_i Fz_i^2 CP_i \\ -\sum Fz_i^2 CP_i \\ -\sum W_i Fz_i CP_i \\ -\sum H_i Fz_i CP_i \\ -\sum D_i Fz_i CP_i \\ -\sum P_i Fz_i CP_i \\ -\sum Fz_i CP_i \end{bmatrix}$$

3.3. 統計 CP モデルの特性

こうして得られた統計 CP モデルを用いて、タイヤサイズの変数と内圧を変化させて CP を推定した例を Fig. 8 に示す。195/60R15, 内圧 $P = 200$ kPa, 荷重 $F_z = 4$ kN を基準に、他の変数を固定した上で、 W , H , D , P を単独で増減し、CP に対する各変数の寄与をそれぞれ個別に確認した。

H と CP には比較的緩やかな正の相関が見られる。2 章の実験データの単回帰分析では両者間に比較的強い負の相関が見られたが、これは市販されている低扁平なタイヤの多くは同時に W が広く、 D が大きいという製品のサイズ傾向を反映し、その影響を受けた結果 CP が高くなったと考えられる。それに対して、こうした複合要因の分解が可能な統計 CP モデルでは扁平率の単独寄与を抽出することができるため、単回帰分析の結果と異なった相関性が観察されたと考えられる。

内圧 P と CP に明確な相関が見られない点は 2 章の単相関の観測結果と一致しているがこうした傾向が現れた理由としては、 P の増加によるタイヤの剛性増加により CP が増加する効果と、 P の増加により接地面積が減少することで CP が低下する効果が相殺するなどの複合的な要因が作用した結果と考えられる。

CP と W とは、比較的強い正の相関を示し、タイヤの幅広化による CP 向上効果を定量的に示している。 D の寄与も、同様にタイヤの大径化による効果を定量化するものである。

次に CP の荷重依存性の推定値を Fig. 9 に示す。205/55R16, $P=210$ kPa を基準に Fig. 8 と同様に (a) W , (b) D , (c) H , (d) P を個別に変化させた場合の F_z と CP の関係を確認した。

W の拡大は低荷重域から CP を増大させる。 D の大型化はタイヤ外径の増大となり、低荷重 CP の若干の低下と高

荷重 CP の増加をもたらす。 H の低下 (扁平化) は中から高荷重域にわたって CP を大幅に増加させる。 P の増加は低荷重域で若干 CP を低下させ、高荷重域で増大する。

上記の特性はいずれも既知の定性的な知見と一致しており、本モデルはサイズ、内圧の変化に対するタイヤ特性の変化を一般化して定量的に示すものと考えられる。

3.4. 統計 CP モデルと実験データとの比較

次に実験データと統計 CP モデルの推定値を比較する。4 種のタイヤサイズについて Fig. 10 に示す。各サイズの実験データには同一サイズで異なる種類の複数のタイヤのデータを含むために特性に幅があるが、統計モデルはそれらタイヤの平均的特性を再現したものとなっている。

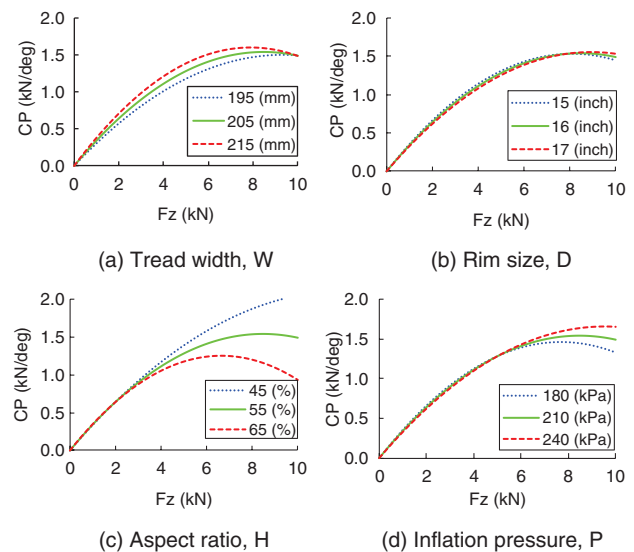


Fig. 9 Relationship between CP and F_z when size parameters varied

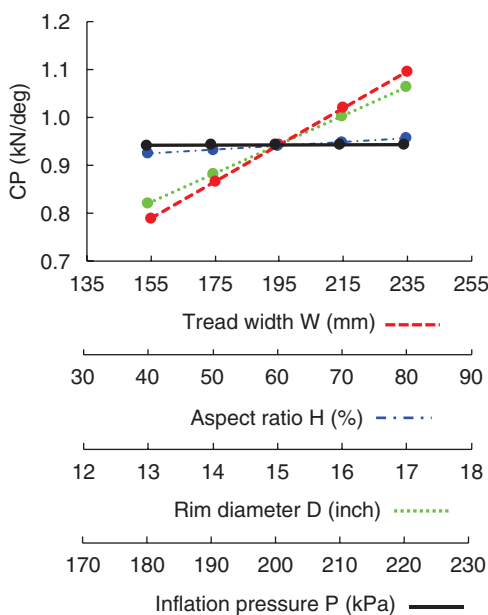


Fig. 8 CP variation by size factor

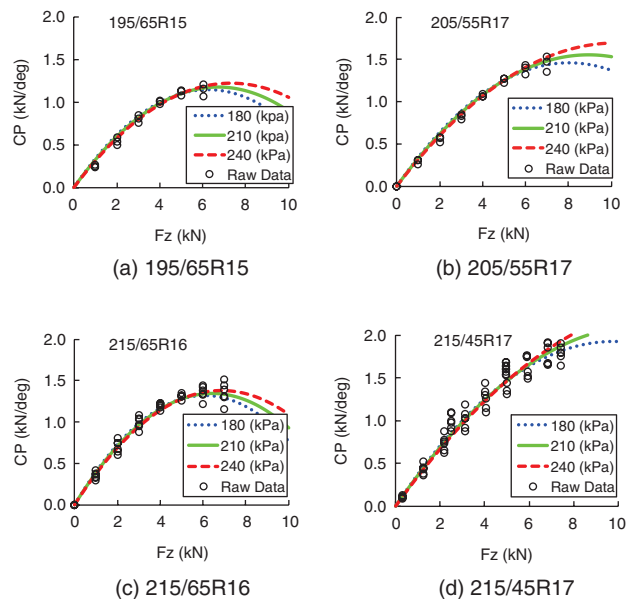


Fig. 10 Experimental data and curves obtained using statistical model

4. 統計タイヤモデルの応用例

4.1. 運動性能の検討

統計 CP モデルによる車両特性検討への応用例として、スタビリティファクタ K と、操舵キャパシティ C_s に適用した場合を示す。 K 式 (7) はステア特性指標の一つであり、 C_s 式 (9) は、操舵応答性、収斂性を表す $\zeta\omega_n$ 式 (8) を決定づける指標の一つである⁽⁴⁾。いま、ある車両諸元の変更により K と C_s が変化した場合に、これらをタイヤサイズの変更によって諸元変更前と同等にすることを試みる。

$$K = \frac{C_r l_r - C_f l_f}{C_f C_r} \times \frac{m}{L^2} \quad (7)$$

$$\zeta\omega_n = \frac{1}{2V} \left(\frac{C_f + C_r}{m} + \frac{C_f l_f^2 + C_r l_r^2}{I_z} \right) = \frac{C_s}{2V} \quad (8)$$

$$C_s = \frac{C_f + C_r}{m} + \frac{C_f l_f^2 + C_r l_r^2}{I_z} \quad (9)$$

C_f/C_r : Front/Rear axle equivalent CP , N/rad

m : Car mass, kg

WD : Front axle weight distribution, %

I_z : Yaw moment inertia, kgm^2

L : Wheelbase, m

V : Vehicle speed, m/s

l_f/l_r : Front/Rear axle COG distance, m

ζ : Yaw damping rate, -

ω_n : Yaw natural frequency, sec^{-1}

ここでは一例として基準とする車両 A から、車両 B へ車両諸元を変更する場合を考える (Table 2)。

車両の各諸元値の変更が K と C_s に与える寄与度を表したものが Fig. 11 である。矢印は各変数が增大する方向を示す。

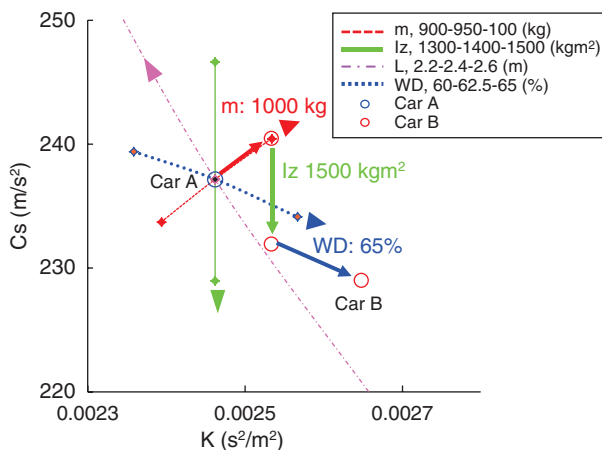


Fig. 11 Effect of changes in car specifications on K and C_s

Table 2 Car and tire specifications

	Car				Tire			
	L (m)	m (kg)	I_z (kgm^2)	WD (%)	W (mm)	H (%)	D (inch)	P (kPa)
Car A	2.4	950	1400	62.5	175	65	15	210
Car B	2.4	1000	1500	65	-	-	-	-

示す。車重 m の増大 (赤)、ヨー慣性モーメント I_z の増大 (緑)、前軸重量配分 WD の増加 (青) を同時におこなうとその結果として車両 A と車両 B との間には K と C_s に違いが生じる。 K と C_s は適切な範囲があり、ここで車両 A がほぼそれを満たしているとして、車両 B においても、車両 A とほぼ同等の K と C_s の値を実現することを目指してタイヤサイズの変更を検討する。

車両 B の K と C_s を車両 A と同等のレベルとする上で、タイヤのサイズ変数の寄与度を統計 CP モデルを用いて推定した例を Fig. 12 に示す。矢印は各変数を増大する方向を示し、 W (青)、 H (赤)、 D (緑)、 P (橙) の各変数が K と C_s に与える影響を定量的に知ることができる。

これを元にタイヤサイズを 175/65R15 から 185/60R15 へ変更すると、車両諸元の変更で変化した車両 B の K と C_s を車両 A とほぼ同等にできることがわかる。実際の車両開発においてはその他の要因も勘案したうえでタイヤサイズを決定するが、このようにして平均的タイヤ特性とその影響を定量的に把握しながら初期の性能設計をおこなうことで、最終的な製品の商品性向上と開発効率改善を両立することが可能となる。

4.2. 運動性能と乗心地の検討

統計タイヤモデルは CP の他にもタイヤの諸特性の推定に応用が可能である。もう一つの例として kz を CP と同時にモデル化してタイヤサイズの影響を検討する例を Fig. 13 に示す。 kz 特性は乗心地などに影響するタイヤの基本特性の一つであり、 CP 向上のためのサイズや諸元変更が乗心地と両立する検討が求められる。

基準とするタイヤ諸元 (185/65R15, $P = 220$ kPa, $Fz = 4.5$ kN: グラフ中央の黒色ポイント) に対して、他の特性を固定

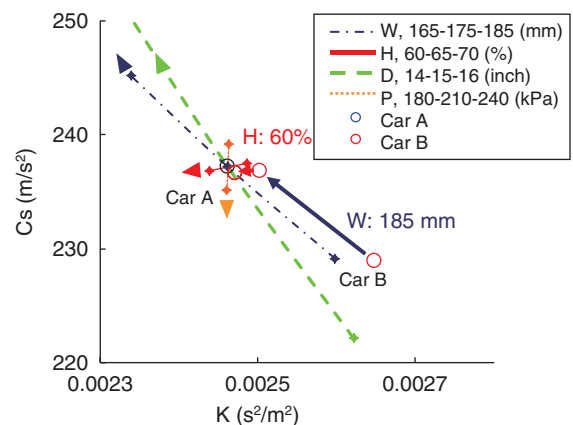


Fig. 12 Effect of tire size parameters on K and C_s

して W , H , D , P , F_z を単独で増減させ, CP と k_z の変化を確認した結果が Fig. 13 中の各色の線である (矢印は各変数を増大する方向を示す). また各変数を増減した組み合わせパターンをプロットしたものが, 周囲の各ポイントである.

CP 向上と k_z 低下を両立し, グラフ上を右下方へ移動することが一般的に好ましい方向性であり, 実際は他の制約条件と合わせて, タイヤサイズと諸元を設定する. 目標となる領域にあるポイントの入力変数の値から, CP と k_z を実現するサイズ, 内圧, 荷重の組み合わせを知ることができ, これにより候補となる複数のタイヤサイズを得ることができる. 同時に各サイズ因子の寄与度を把握できるので, 複数の候補の中から, その他の要因も加味して最適なタイヤサイズ選定の検討を定量的に進めることができる.

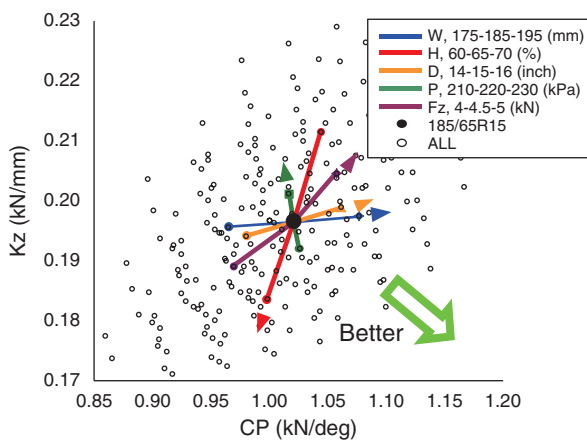


Fig. 13 Variation of CP and k_z when size parameters, inflation pressure and tire load changed

5. まとめ

タイヤのサイズ, 諸元からタイヤ特性を定量的に推定する「統計タイヤモデル」を開発した.

- (1) このタイヤモデルは, 対象とするタイヤを個別に計測してモデル化しなくても, さまざまなサイズのタイヤの特性を推定することが可能である.
- (2) このモデル化の手法は, 単一タイヤの実験式モデルを拡張し, 多数のタイヤからなるデータ群全体からシステム同定手法を用いて多変数近似式モデルを作成するものである.
- (3) タイヤのサイズ変更を扱うことができるこのモデルを用いることで, 開発初期の性能設計をより高精度に, より効率的におこなうことが可能となる.

今後は統計的モデル式の物理的な理論性の向上と共に, モデル同定精度の向上と適用タイヤサイズ範囲の拡大, タイヤの材質や構造といった定性的変数をモデルに組込むためのデータ蓄積などを目指して, タイヤデータ測定の拡充を計っていきたい.

参考文献

- (1) Pacejka, H. B.: Tyre and Vehicle Dynamics, Second Edition, Butterworth-Heinemann, p. 2-215(2009)
- (2) 株式会社ブリジストン編:自動車用タイヤの基礎と応用, 電機大出版局, p. 142-154(2008)
- (3) 片山徹:システム同定入門, 朝倉書店, p. 7-10(1994)
- (4) 三浦登, 福田水穂:自動車設計と解析シミュレーション, 培風館, p. 178-182(1990)

■ 著 者 ■



鈴木 朋和



日下 馨