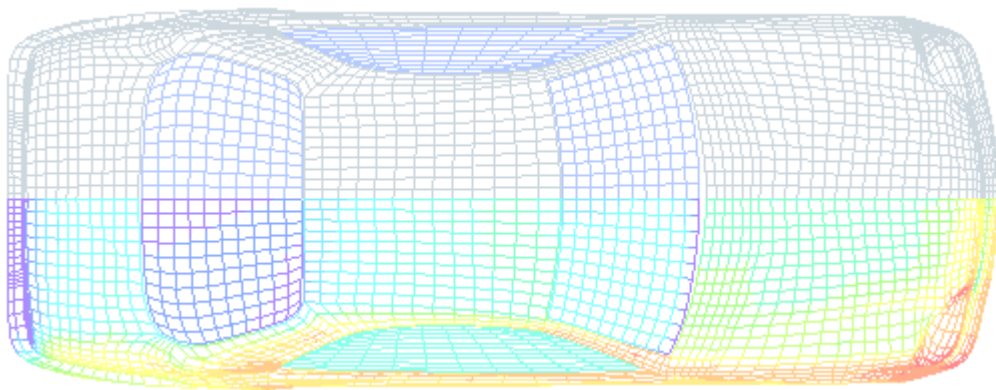


# 3次元車体形状 日射量 数値予測の提案

株式会社 ウェーブフロント

## はじめに

本文書では, RadCAD<sup>1</sup>を活用した車体形状(3次元)への日射量(直達光・散乱光)の数値予測を試みます. ここでは, 表面格子を用いた簡易的な車体形状を使用します(1節参照). 日射量予測の手法としては, モンテカルロ・レイトレーシングを採用しています(2節参照). このレイトレーシング法を用いて日射による入射熱流束の予測を試み, その計算結果を概観します.



<sup>1</sup> RadCAD は, C&R 社製品の一つです. 構造物間, 及び, 太陽光による放射コンダクタンスを見積もるモジュールです.

# 1. 車体形状

本例では、図 1.1 のような簡易的な表面格子を使用します。この車体形状は4010個の面要素(四角形)を含んでいます。

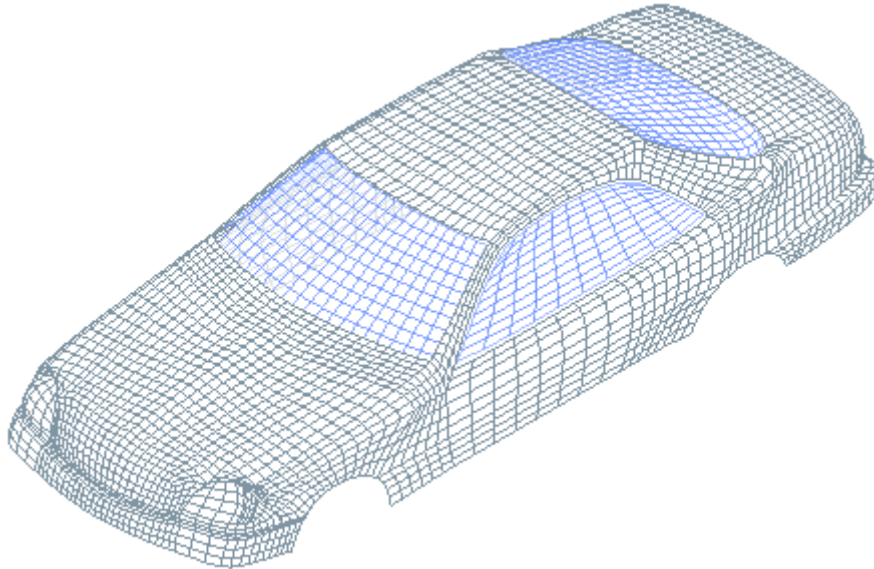


図 1.1: 簡易的な車体形状(表面格子)

## 2. 数値予測の概略

### 2.1. 車体, 地球, 及び, 太陽の位置

日射を模擬する時刻, 及び, 車体の位置を次のように想定します。

- 時刻: 2014 年 1 月 1 日 午前 9:00 (日本時間).
- 位置: 東京駅近傍 北緯 35 度 40 分 52 秒( $\approx 35.6811\text{deg}$ ), 東緯 139 度 46 分 0 秒( $\approx 139.767\text{deg}$ ).

時刻を入力すると、図 2.1 のように、太陽、及び、地球の位置関係を決めることができます。具体的には、RadCAD 内部において、次の情報が算出されることになります。

- 太陽の赤経・赤緯<sup>2</sup> (The right ascension of the Sun, The declination of the Sun)
- 本初子午線<sup>3</sup>の赤経 (The right ascension of the Prime Meridian. 但し図 2.1 では省略).

上記の情報を入力すると、太陽、地球、及び、地表における車体の位置が決まります。尚、本例では、車体を東に進行する方向(太平洋向き)に設置しています。これらの設定より、各構成要素は、図 2.1 のように配置されます。車体の右前方(右ヘッドライトの辺り)が重点的に日射の影響を受けることが予想できます。

---

<sup>2</sup> 天球の赤道面を基準面にとった座標系として赤道座標系(equatorial coordinate system)が挙げられる。この座標系では、赤経と赤緯で天球上の位置を示す。

<sup>3</sup> 本初子午線: 地平線上の北、天頂、地平線上の南、及び、天底を通る大円を、その観測点の子午線(meridian)という。経度 0 度と定義された子午線を本初子午線という。

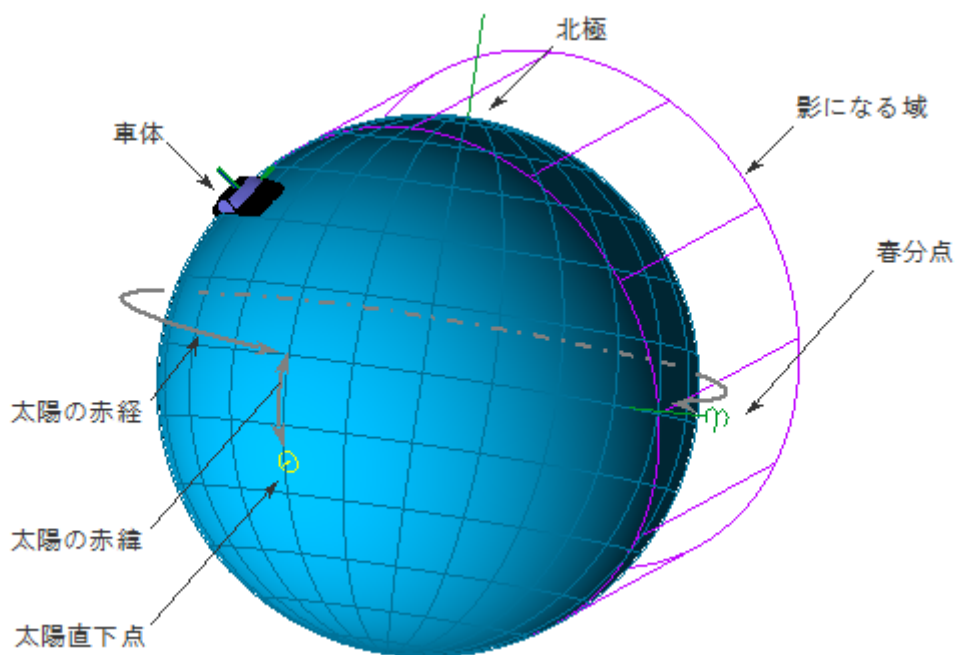


図 2.1: 太陽, 地球, 及び, 車体位置関係のイメージ

## 2.2. 日射量 算出モデル

日射量は, ASHRAE<sup>4</sup> Atmospheric Extinction Model に基づいて次式のように算出します.

- 直達日射<sup>5</sup>による垂直面への入射熱流束 [W/m<sup>2</sup>] (Direct Normal Irradiance)

$$\frac{G}{\exp(B/\sin \beta)} \times (1.0 - C)$$

$G$  = (大気圏外での)太陽放射による入射熱流束 [W/m<sup>2</sup>]

$B$  = Atmospheric Extinction Coefficient

$\beta$  = 太陽高度 (Thermal Desktop 内で算出)

$C$  = Cloudiness Fraction

- 散乱日射<sup>6</sup>による垂直面への入射熱流束 [W/m<sup>2</sup>] (Diffuse Sky Irradiance)

$$\frac{G}{\exp(B/\sin \beta)} \times D$$

$D$  = Fraction of Solar Scattering

モンテカルロ・レイトレーシング法 (Monte Carlo Ray Tracing) を活用して, 太陽放射を模した多数の光線 (Ray) を形状表面に射出します. これにより, 太陽放射が到達する(車体形状上の)要素を探索し, また, その伝熱面積等を見積もります.

図 2.2は, 直達日射を模擬するレイトレーシングの計算過程の可視化画像です. 太陽光と同じ方向を持つ

<sup>4</sup> ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Cooling Engineers (米国暖房冷凍空調学会).

<sup>5</sup> 直達日射: 太陽光球面から直接地上に到達する太陽放射.

<sup>6</sup> 散乱日射: 大気成分により散乱・反射して天空の全方向から届く太陽放射.

光線(Ray)が、多数、射出されている様子がわかります。

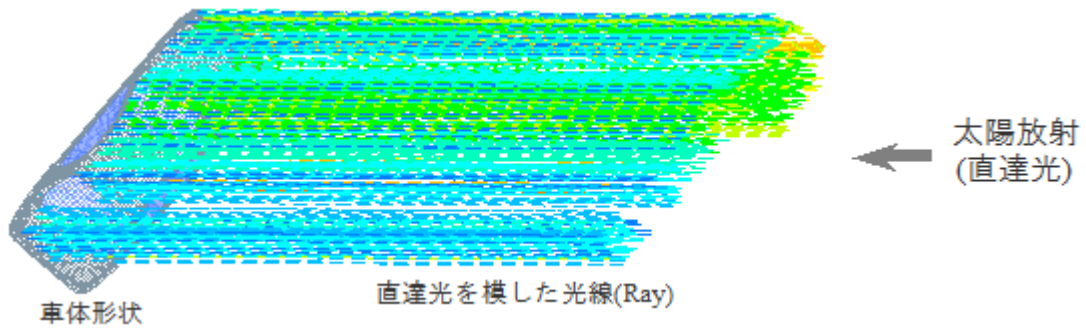


図 2.2: 直達日射を模擬するレイトレーシング法の計算過程(一部)

図 2.3 は、散乱日射を模擬するレイトレーシングの計算過程の可視化画像です。天空(Sky)のあらゆる方向から車体形状に向けて多数の光線が射出されている様子がわかります。

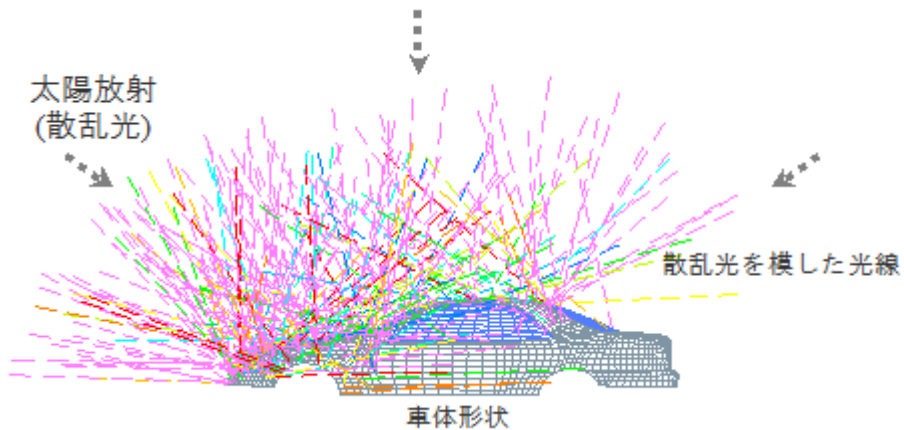


図 2.3: 散乱日射を模擬するレイトレーシング法の計算過程(一部)

### 3. 計算例

計算例を掲載します。尚、ここでは下表のような光学特性を設定しています。

	吸収率	反射率	透過率
車体	0.9	0.1	0
ウィンドウ	0.4	0.05	0.55

図 3.1 は日射による入射熱流束分布の可視化図です。左側に直達日射、右側に散乱日射による熱流束分布を示しています。図 3.2 は、直達日射の熱流束分布の上面図です。

直達日射による熱流束を見ますと次のことが推察できます。右のヘッドライト近傍は、太陽光に対して、比較的、垂直に近い角度となっています。その近傍では、他の部位と比較して、高熱流束となっているのがわかります。また、図 3.2 より、日向と日陰による熱流束の差異が把握できます。車体の前方・右側は日向であり、(日陰の後方・左側と比べると) より多くの放射エネルギーを吸収するであろうと判断できま

す。

散乱日射の熱流束分布(図 3.1 の右側)をみますと次のことがわかります: 車体上面は, 比較的, 高熱流束であり, 一方, 側面は低熱流束である. この結果は, 次のような原因によると考えられます. 地球に向かう太陽放射は, 天空にて散乱・反射します. そのため, 散乱日射による放射エネルギーは, 天空のあらゆる方向から地表上の対象物に向かいます(図 2.3). その結果, 車体上面は, 側面と比較すると, より広範囲の天空から放射エネルギーが到達すると考えられます. 熱流束分布をみますと, そのような, 形状(または面の構成・向き)による熱流束の差異が模擬されていると言えます.

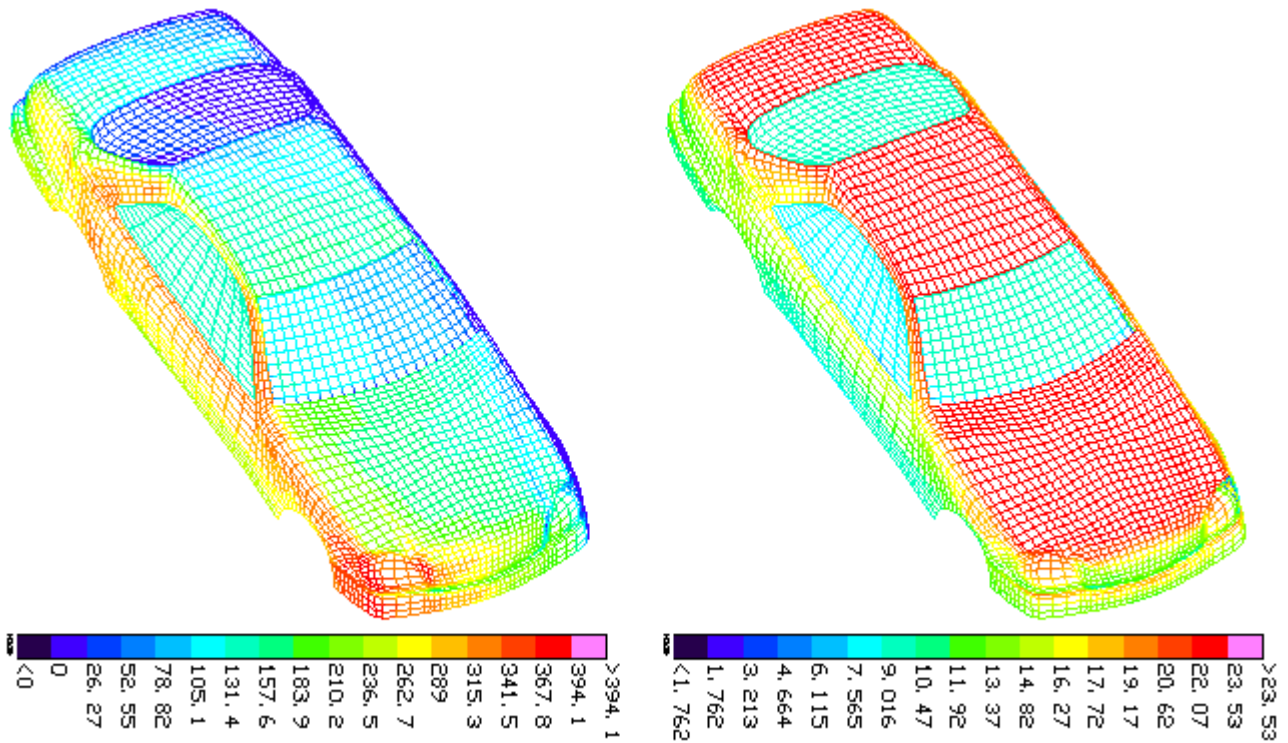


図 3.1: 入射熱流束 側面図: 直達日射(左), 及び, 散乱日射(右)

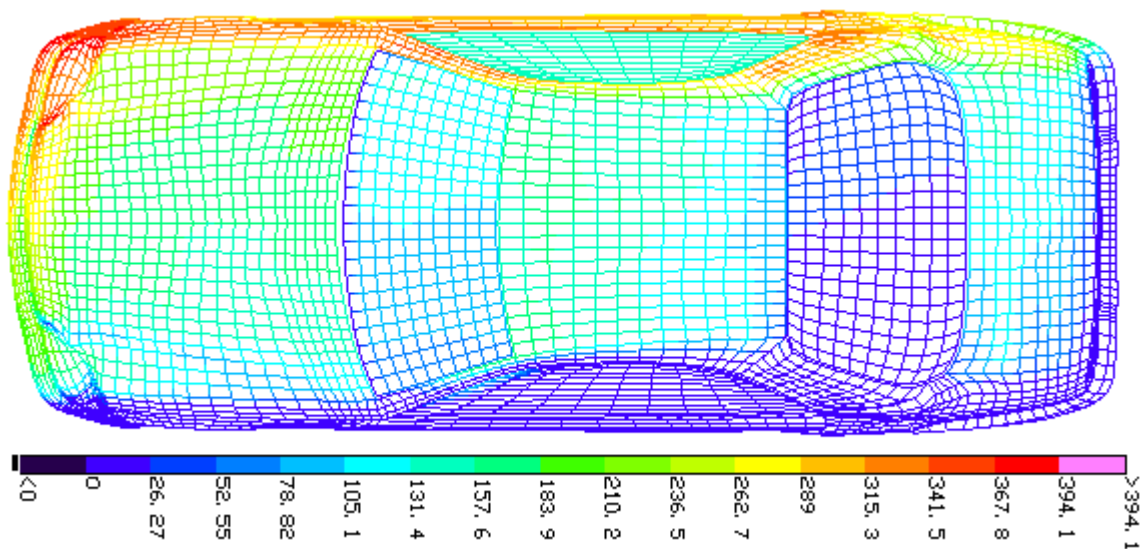


図 3.2: 入射熱流束 上面図: 直達日射

## 4. まとめ

本文書では、簡易的な車体形状を使用して、日射量の数値予測を試みました。RadCAD のモンテカルロ・レイトレーシング法を活用して、直達日射、及び、散乱日射による入射熱流束算出の概要を記しました。また、数値予測結果について、日射の様式 (直達 or 散乱)、及び、車体形状に起因する日射量分布の差異を概観しました。

本例では、直達日射、及び、散乱日射の直接的な入射に着目しています。しかしながら、RadCAD では、地表からの放射、或いは、反射の効果なども考慮できます。このように、RadCAD を活用すると、太陽放射に関する複数の成分を併せて模擬できるので、実事象に即した数値予測が期待できると考えます。

## 5. 参考文献

- [1] Timothy D. Panczak, et al, Thermal Desktop Version 5.6 User's Manual, (2013), C&R Technology.
- [2] 長沢工, 天体の位置計算, (1985), 地人書館.