

Google Earth API を用いた航空機随伴 渦運動の3D表現およびその背景

東北学院大学工学部 長島慎二

発表内容について

2003年名古屋空港において発生した航空機事故に関して、中型旅客機の主翼先端から発生した随伴渦の挙動を渦法を用いて計算をし、Google Earth APIを利用したWebアプリケーション上で可視化を行った結果について紹介します。その他、FIFA公式球チームガイストを用いた国立競技場でのフリーキックのリアルタイムシミュレーターや仙台のクリネックススタジアムでの打球シミュレーター、ビルを建築した場合の3D 日陰図シミュレーターなどについても紹介します。(立体視ではありません。)

Google Earth APIを利用したWebアプリケーションの利点

1. 実際の風景の中で物理現象を把握できる。
2. 動的に標高を取得できる。
3. Webアプリケーションであること自体の価値。
4. 太陽を表示できる。
5. KMLにより物体表示が可能。

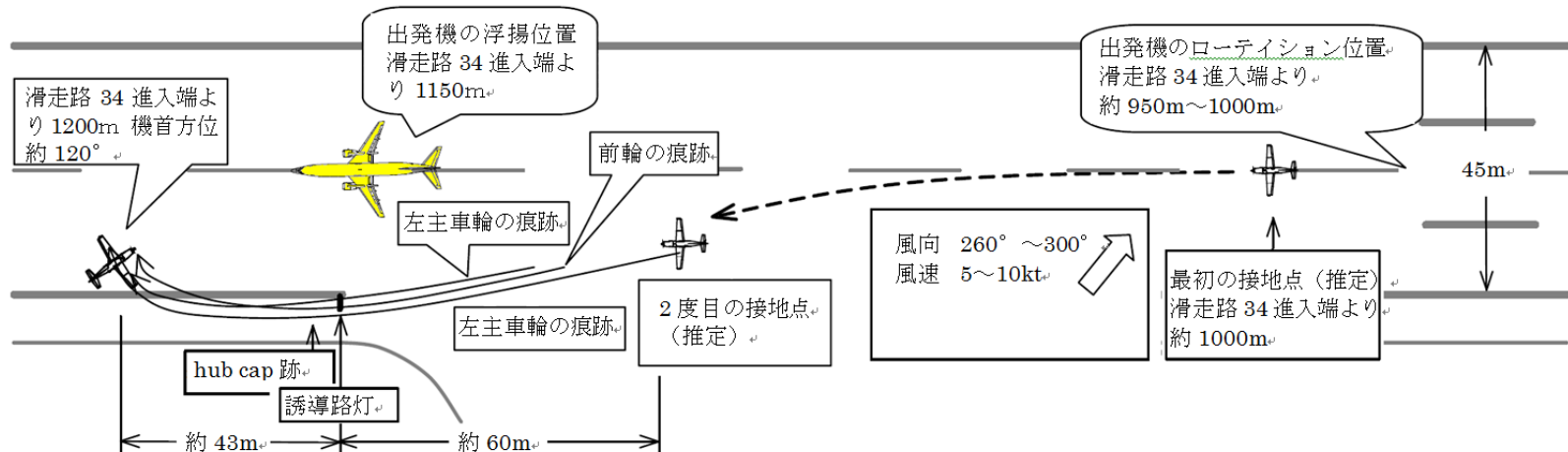
Track of Vortex

Short PV Web Application 説明1



事故の詳細

2003年8月5日名古屋空港において、中型旅客機（ボーイング737-400型機）が離陸した後、約70秒後に着陸しようとした小型機（パイパー式PA-46-350P型JA4200）がコントロールを失い滑走路上でかく座して停止する事故が発生した。航空・鉄道事故調査委員会が発行した航空機事故調査報告書では、「本事故は、同機が、着陸の際、先行して離陸した出発機の左翼から発生したウェイクタービュランスに遭遇したため、いったん接地後、浮揚し、再び接地したときに両主脚を折損するとともに、左主翼端付近の後桁を湾曲させ、機体を損傷したことによるものと推定される。」と結論づけている。

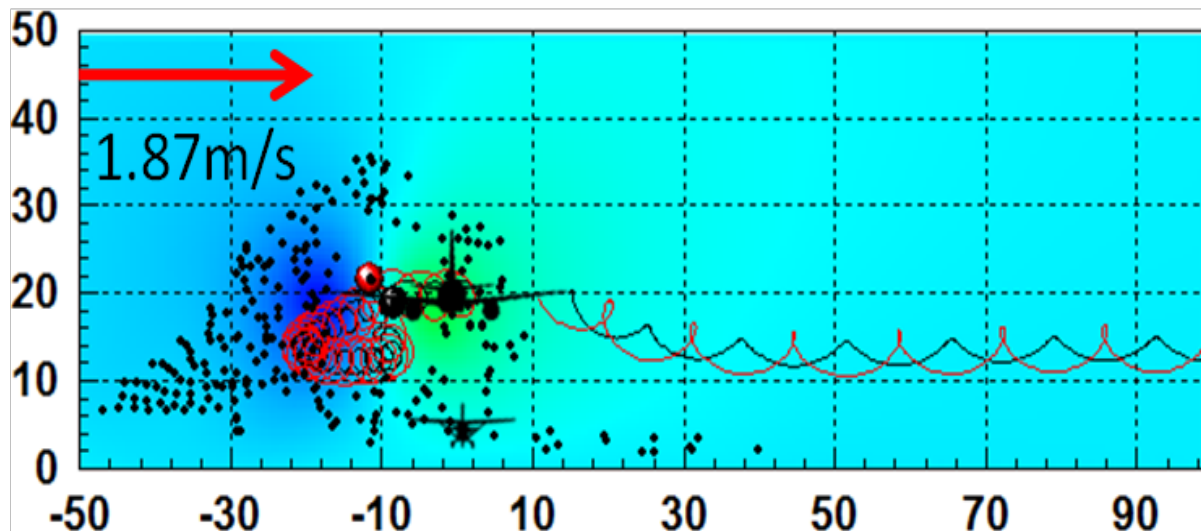
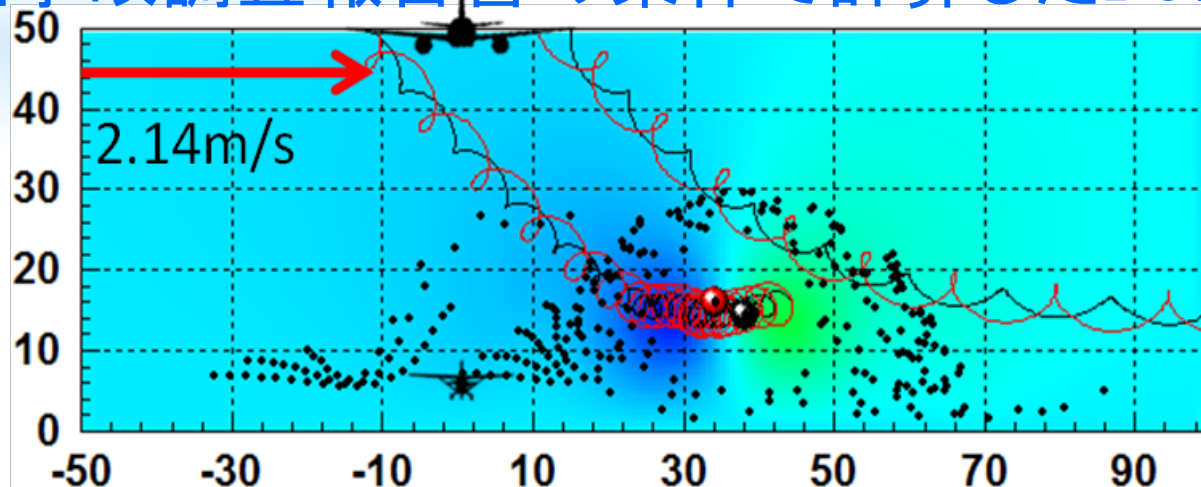


続き(説明2)

渦法で計算したDownwash Upwash

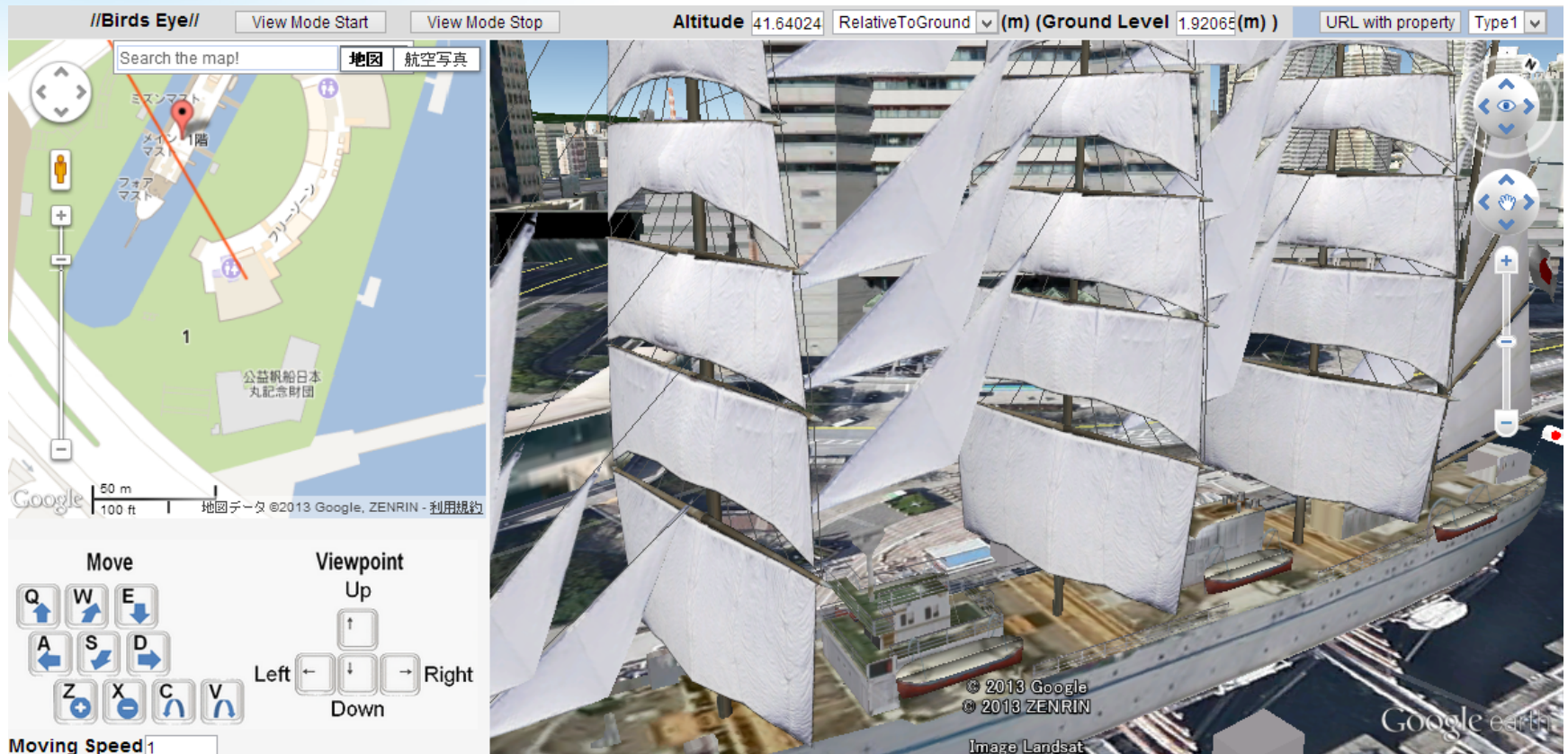
航空事故調査報告書の条件で計算したDownwash

説明3



Birds Eye

Short PV Web Application Map 説明4



カメラコントロール

Google Earth API Camera Control 説明5

//緯度・経度・標高・高度・水平方向および垂直方向
角度・ズーム・ロール角を指定

function

```
view_point_new(n_latitude,e_longitude,elevation,height,h  
eading,tilt,zoom,roll){  
}
```


物理座標から緯度・経度の算出

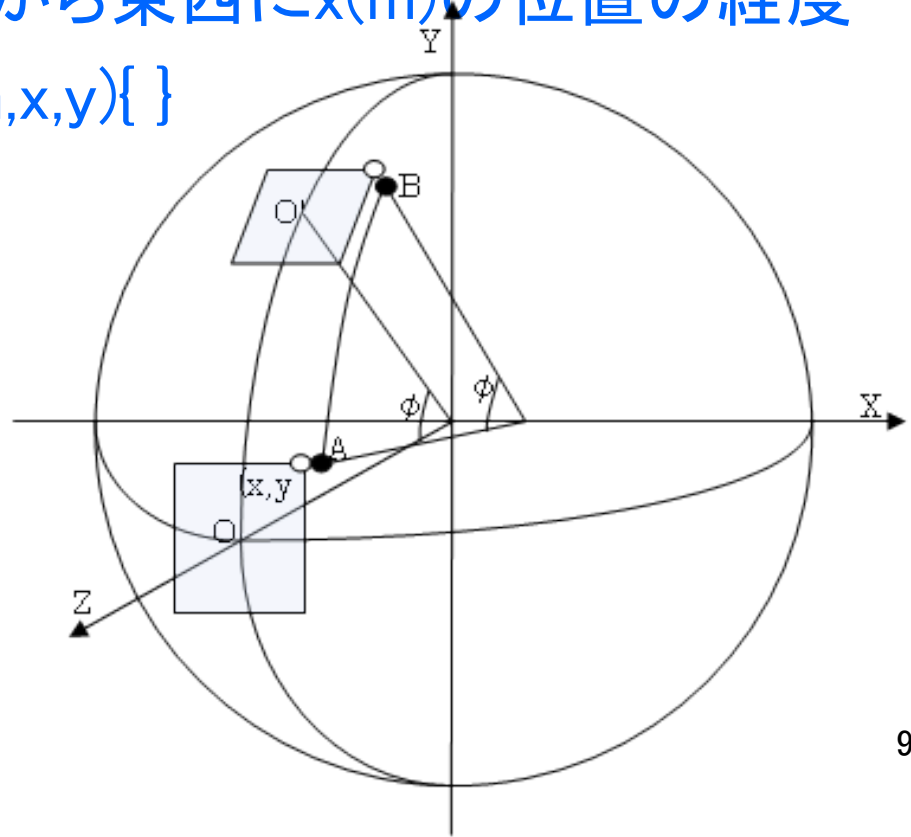
//緯度lat 経度lonの位置から南北にy(m)の位置の緯度

```
function lat_position(lat,lon,x,y){ }
```

//緯度lat 経度lonの位置から東西にx(m)の位置の経度

```
function lon_position(lat,lon,x,y){ }
```

説明6



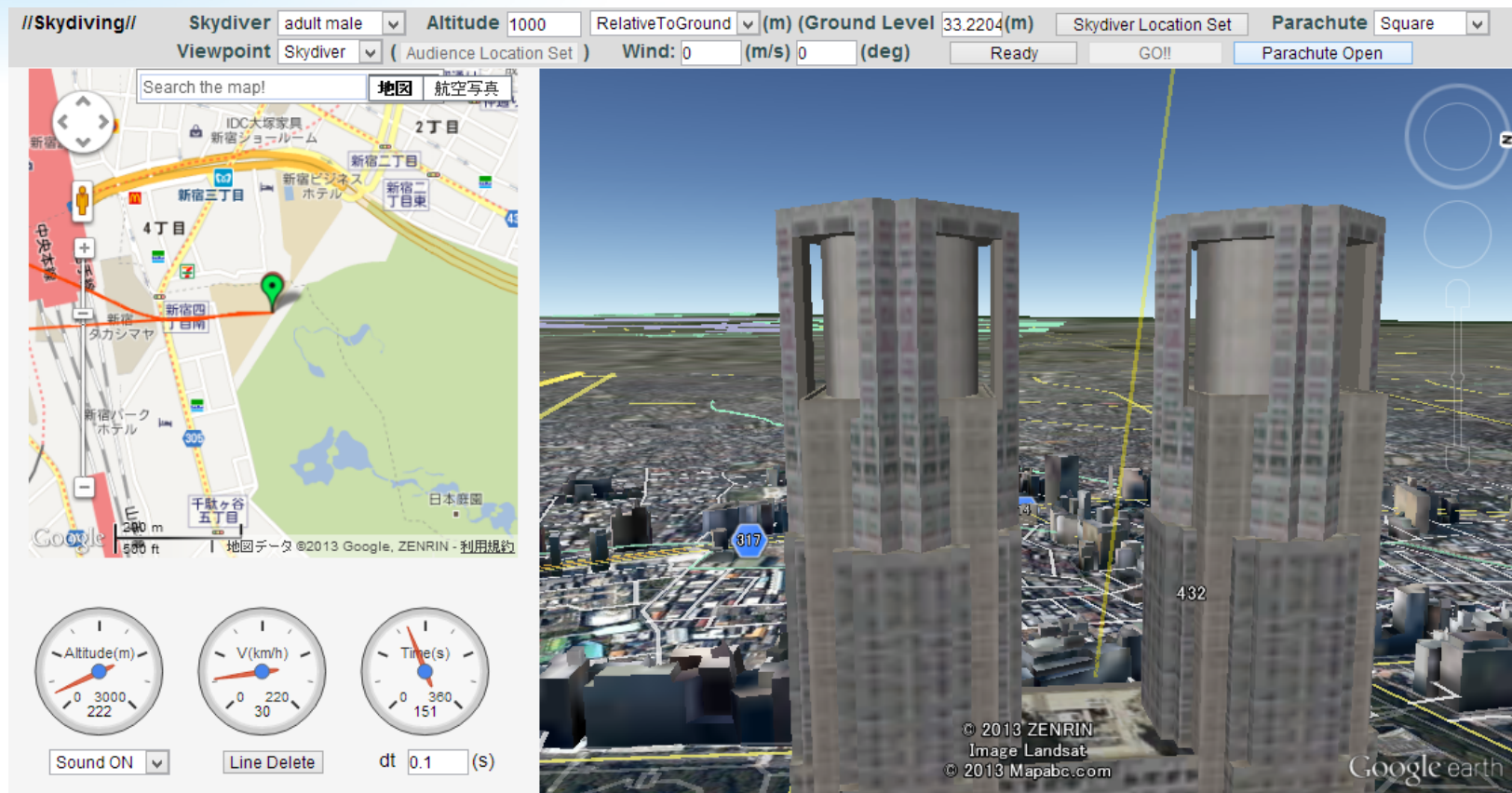
Google Elevation API

Google Elevation API

スカイダイビングのシミュレーターにおける着地判定や、建物を建てるなど、基本的にリアルタイムな標高情報が必要になります。標高データはGoogle Elevation APIを利用して取得します。

Skydiving

Short PV Web Application 説明7



高度と圧力

基礎理論 説明8

Absolute pressure

$$P = P_0 \left\{ 1 - \frac{\rho_0 g}{P_0} \left(\frac{n-1}{n} \right) z \right\}^{\frac{n}{n-1}}$$

polytropic change

$$\frac{P_0}{\rho_0^n} = \frac{P}{\rho^n} \Rightarrow \rho = \rho_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$P = \rho R T \Rightarrow t = \frac{P}{\rho R} - 273, R = 287$$

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

$$D - mg = m \frac{dV}{dt}$$

and

Square Parachute

RouteNavi

Short PV Web Application 説明9

☆ Route Navi ☆ Route (View) Mode: Altitude RelativeToGround (m) Speed (km/h) dt (s)

Click the points of departure and destination.

Search the map Search 地図 航空写真

Direction of View

Up

Zoom in out Left Right

Down

© 2013 ZENRIN
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image Landsat

Free Kick

Short PV Web Application 説明10

FREE KICK SHOOT (1軌跡消去 全軌跡消去) キッカー位置確定 視点位置確定 (高さ1.8 (m)) 効果音オン ▼

Search the map! Sea 地図 航空写真

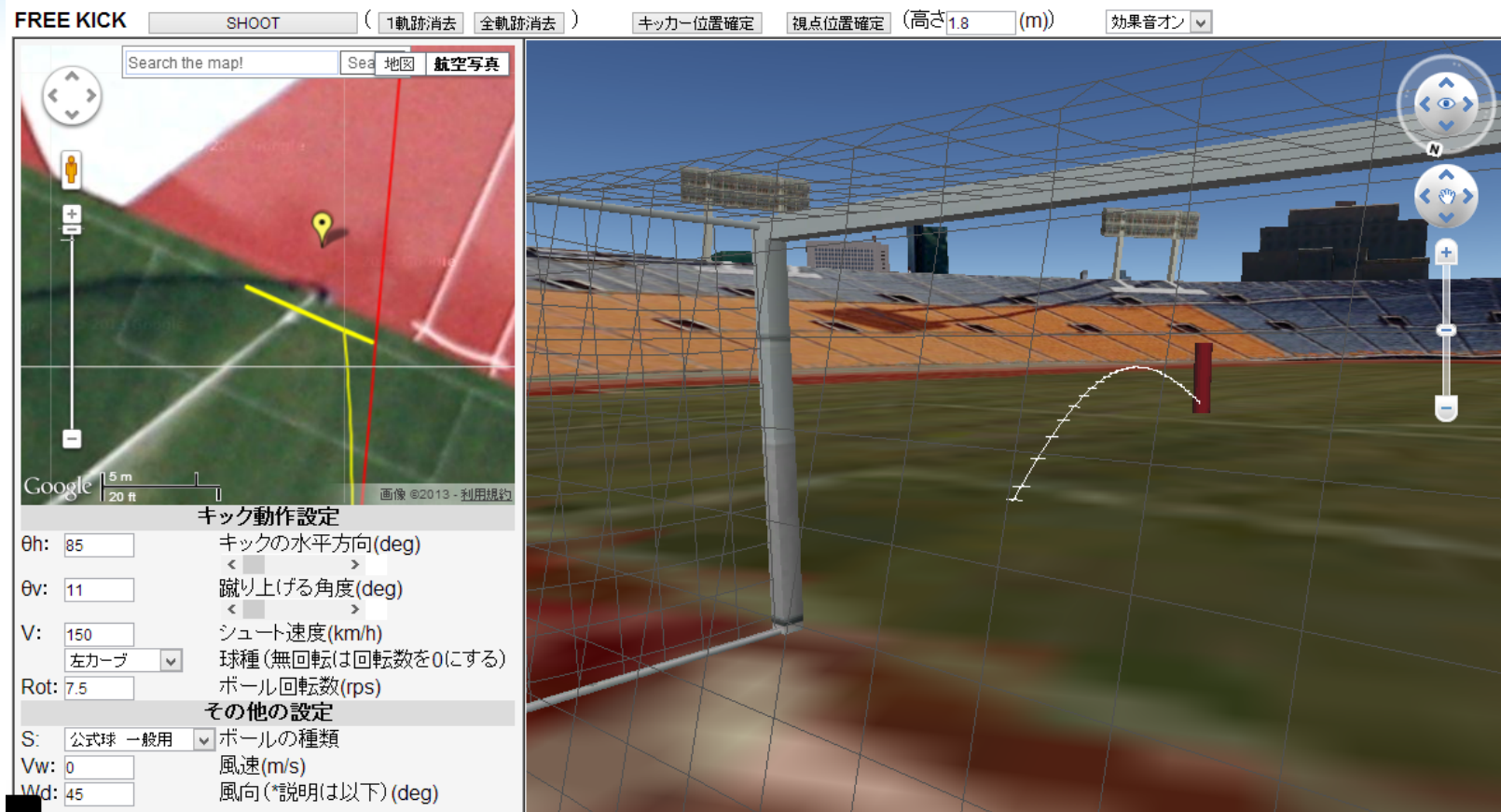
Google 5 m 20 ft 画像 ©2013 - 利用規約

キック動作設定

θh : 85 キックの水平方向(deg)
< >
 θv : 11 蹴り上げる角度(deg)
< >
V: 150 シュート速度(km/h)
左カーブ 球種(無回転は回転数を0にする)
Rot: 7.5 ボール回転数(rps)

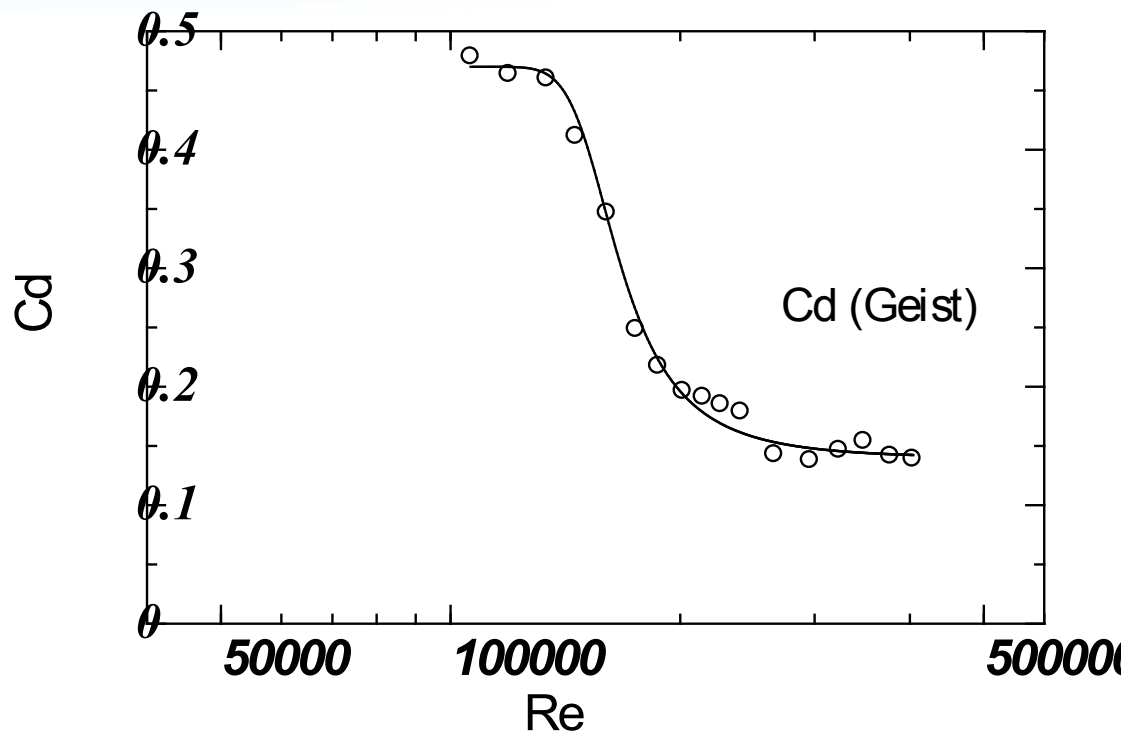
その他の設定

S: 公式球 一般用 ボールの種類
Vw: 0 風速(m/s)
Wd: 45 風向(*説明は以下) (deg)



FIFA公式球の抗力係数

抗力係数 説明11



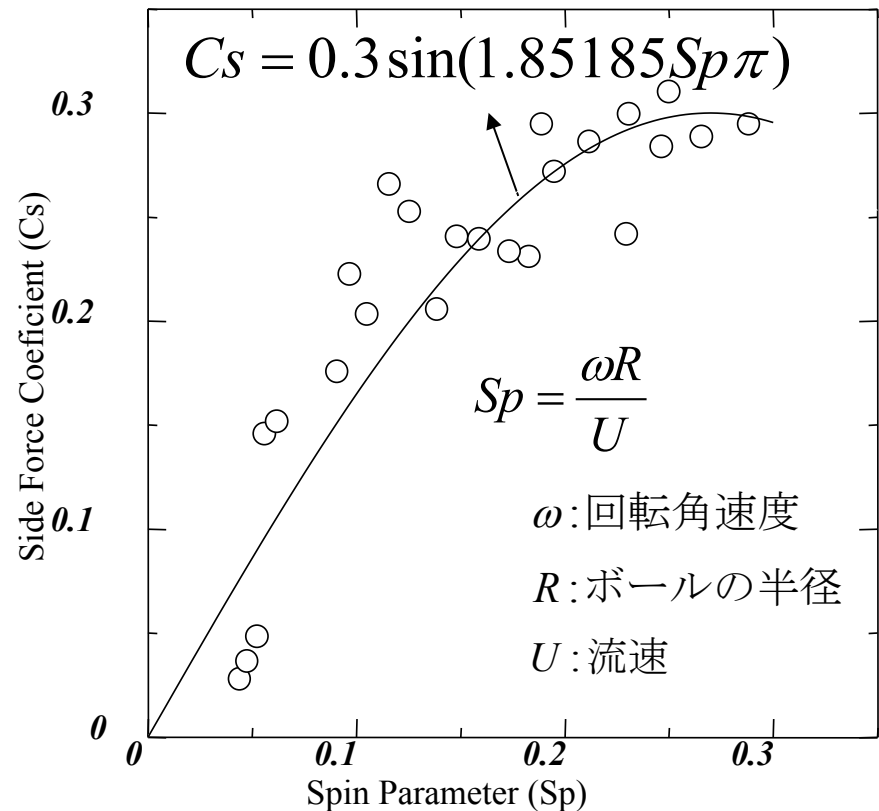
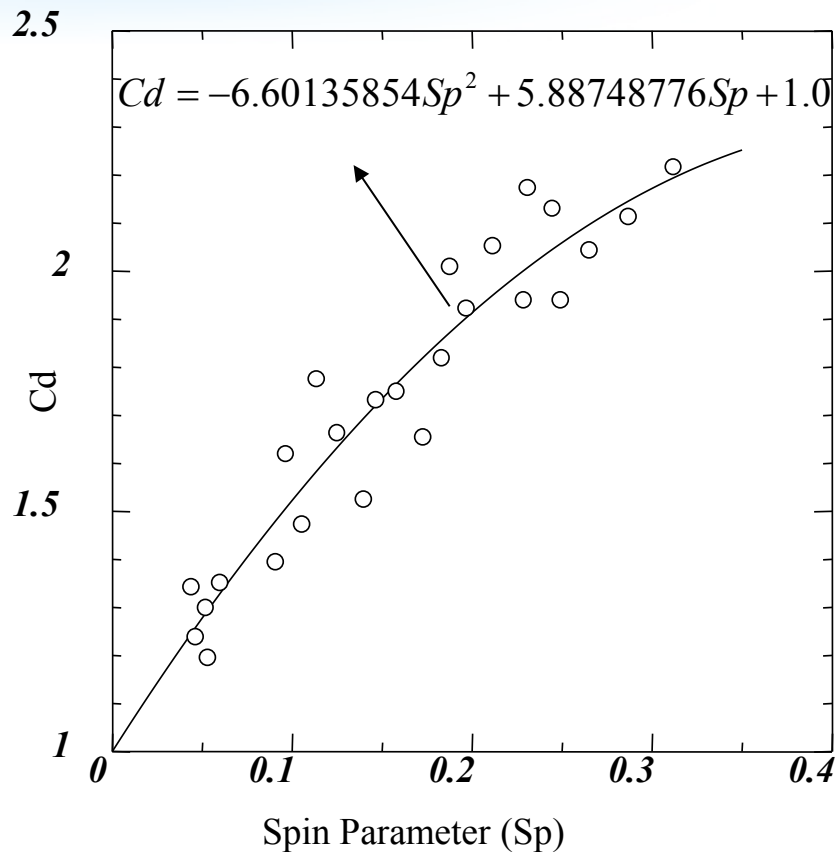
実験データに使用された
2006年FIFA公式球+Teamgeist

「サッカーボールの空力特性に関する研究」(浅井 武 他2人体育学研究, vol.52, pp29-38, 2007)より

FIFA公式球の-spin特性

スピンの影響

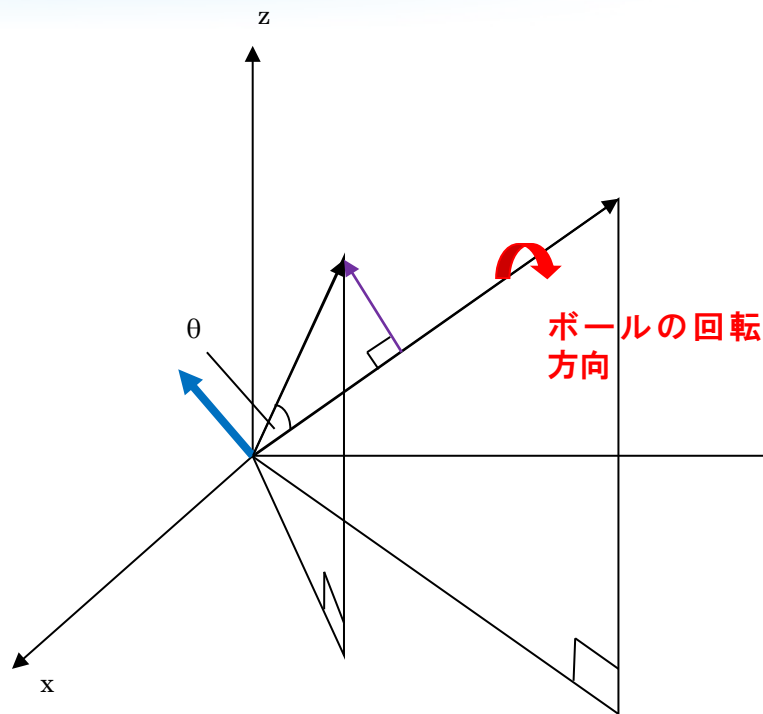
説明12



スピンによる揚力ベクトル

スピンによる揚力

説明13



$$\vec{c} = \frac{\vec{V} \vec{r} \cdot \vec{R}}{|\vec{V} \vec{r}| |\vec{R}|} = (c_x, c_y, c_z)$$

揚力は公式より、

$$|\vec{L}| = C_L \frac{1}{2} \rho |\vec{b}|^2 A$$

ボールに生じる揚力は

$$\vec{L} = (L_x, L_y, L_z) = (|\vec{L}| c_x, |\vec{L}| c_y, |\vec{L}| c_z)$$

スピンの種類

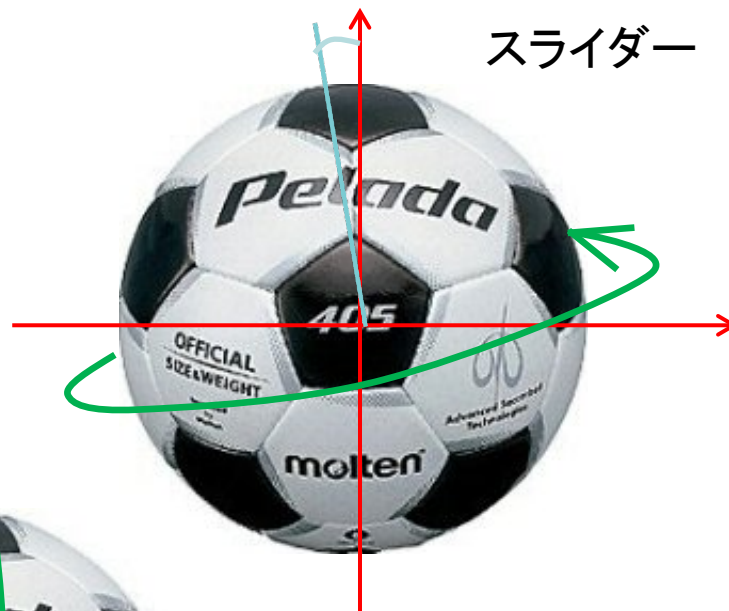
スピンの種類

説明14

カーブ



スライダー



ドロップ



Short PV Web Application 説明15

TENNIS SERVE () 視点位置確定 高さ (m) ▼

Search the map!

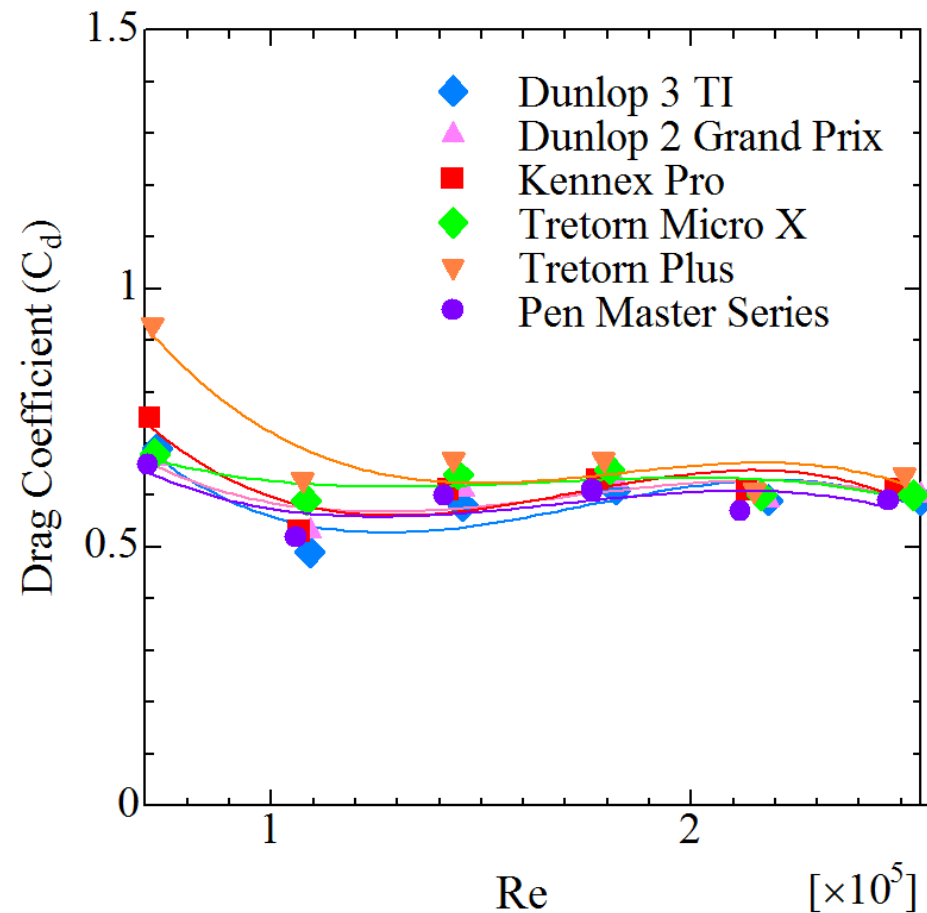
Google 5m 20ft 画像 ©2013 - 利用規約

サーブ動作設定

θh: スウィング初動時水平角度 (deg)
 θs: スウィング角度(deg)
 θv: スウィング面の傾斜角度(deg)
 Vs: サーブ速度(km/h)
 球種(無回転は回転数を0にする)
 ▼
 Rot: ボール回転数(rps)

テニスボールの抗力特性

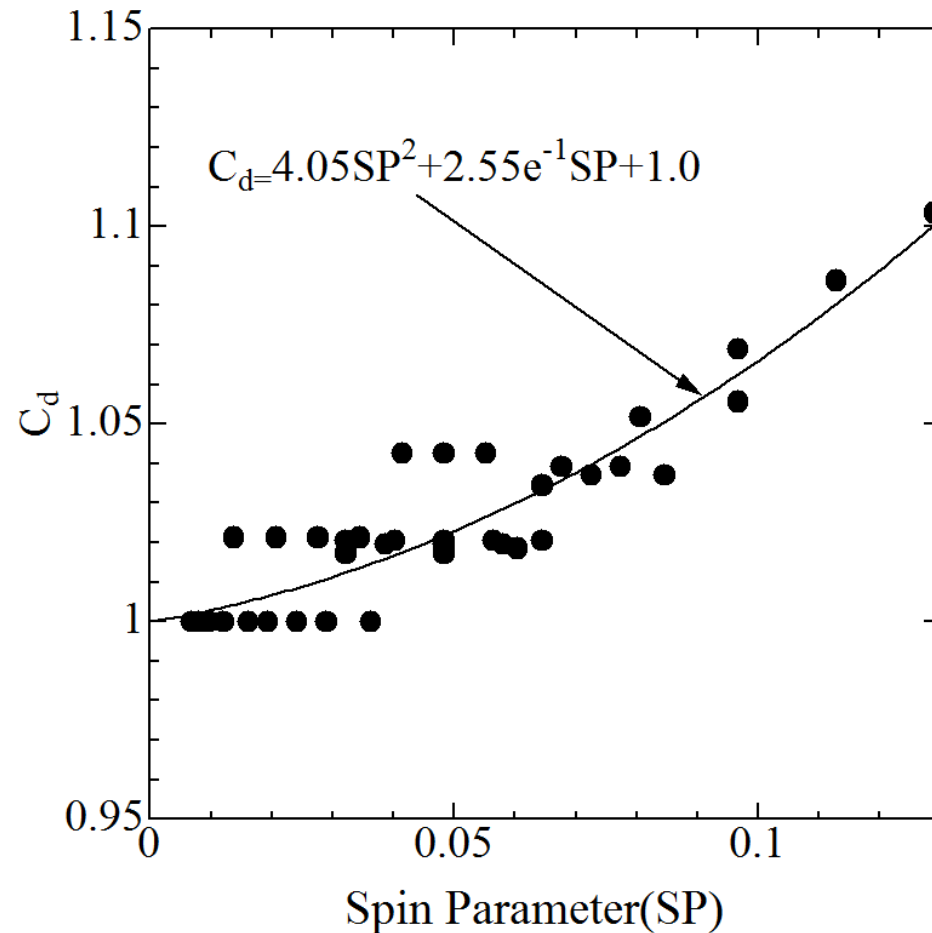
レイノルズ数
に対する抗力
係数 説明16



参考文献:「The Aerodynamic Forces on a Series of Tennis Balls」
(F.Alam他2名,2004)

テニスボールのスピン特性(抗力)

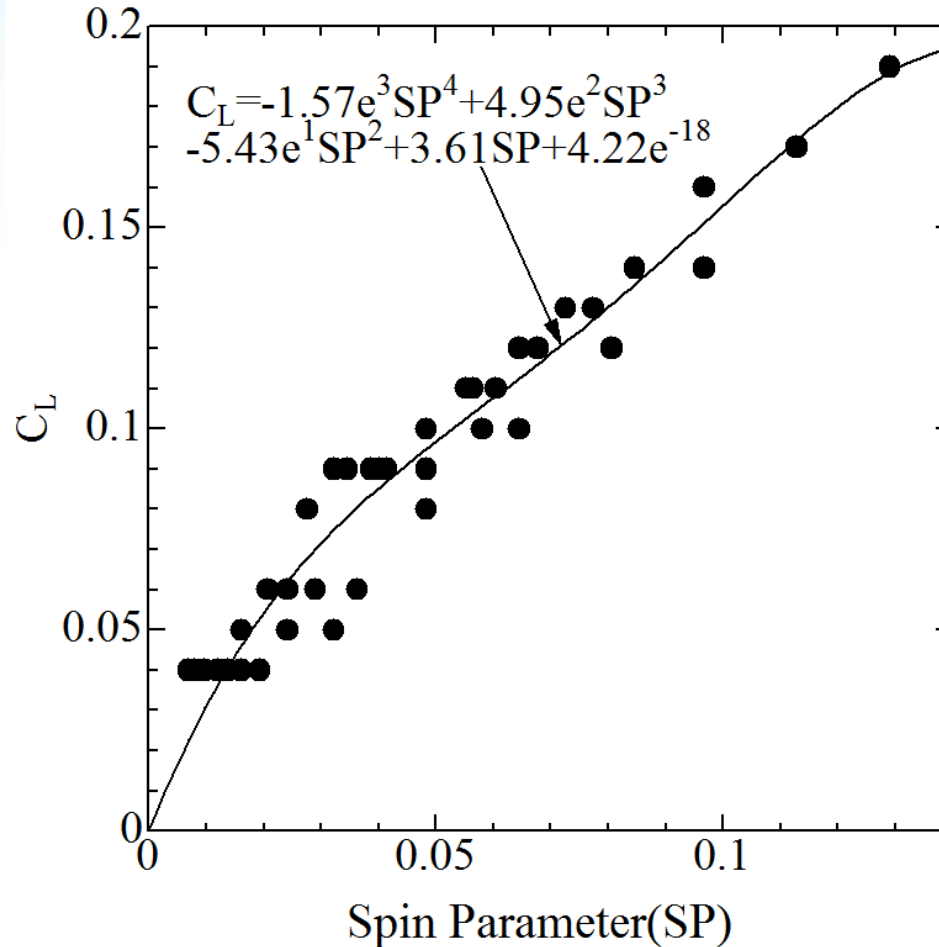
スピンパラメータ
に対する抗力係数
の増加割合
説明17



参考文献:「A Study of Spin Effects on Tennis Ball Aerodynamics」
(F.Alam他4名,Vol3,pp271-278,2008)

テニスボールのスピン特性(揚力)

スピンパラメータ
に対する揚力係
数 説明18



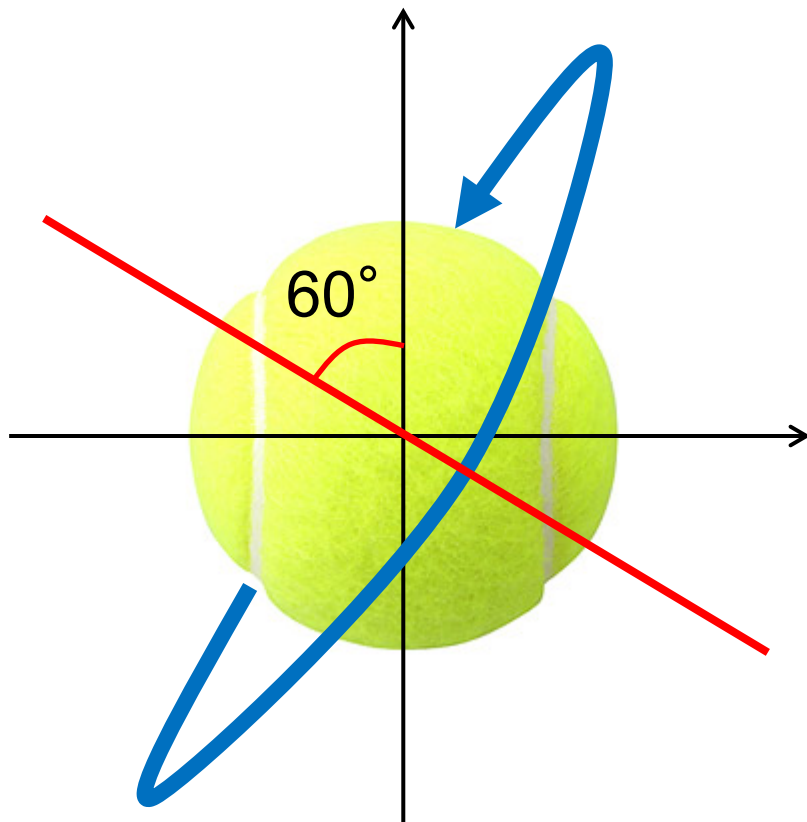
参考文献:「A Study of Spin Effects on Tennis Ball Aerodynamics」
(F.Alam他4名, Vol3, pp271-278, 2008)

テニスボールのスピンの設定

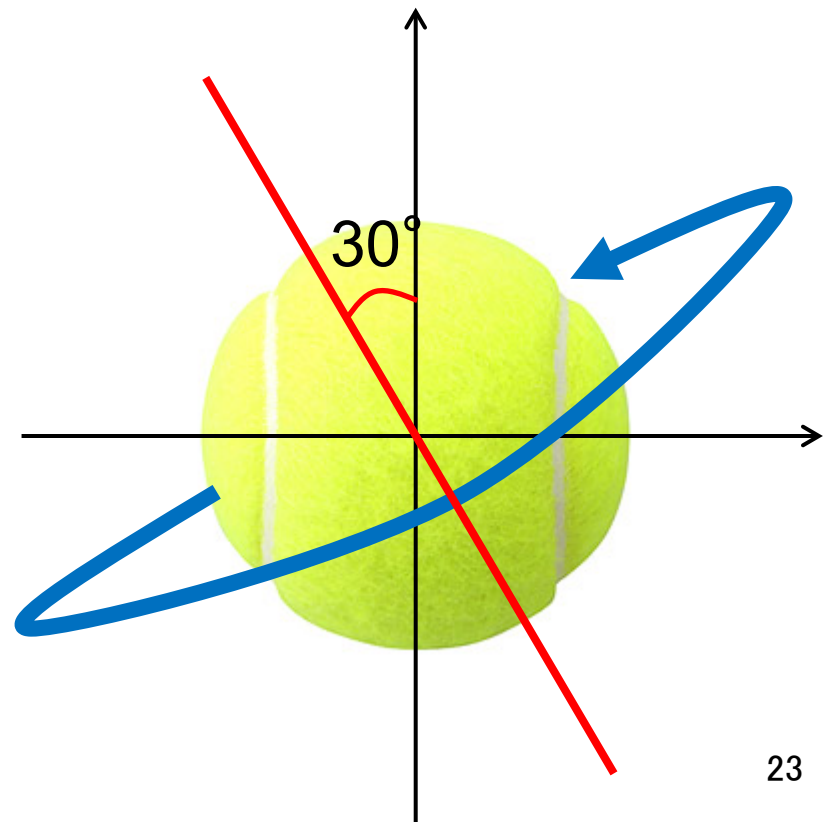
スピン種類

説明19

スピン(右利き)



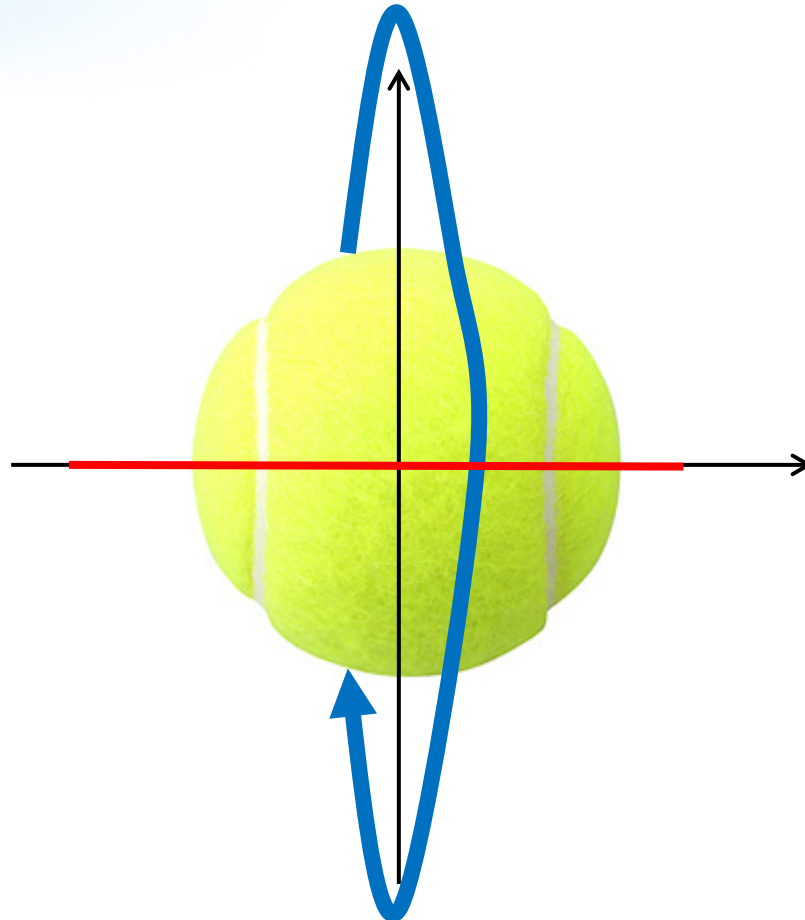
スライス(右利き)



テニスボールのスピンの特性

スピン種類

フラット



テニスサーブスイング設定

スイング 理論 説明20

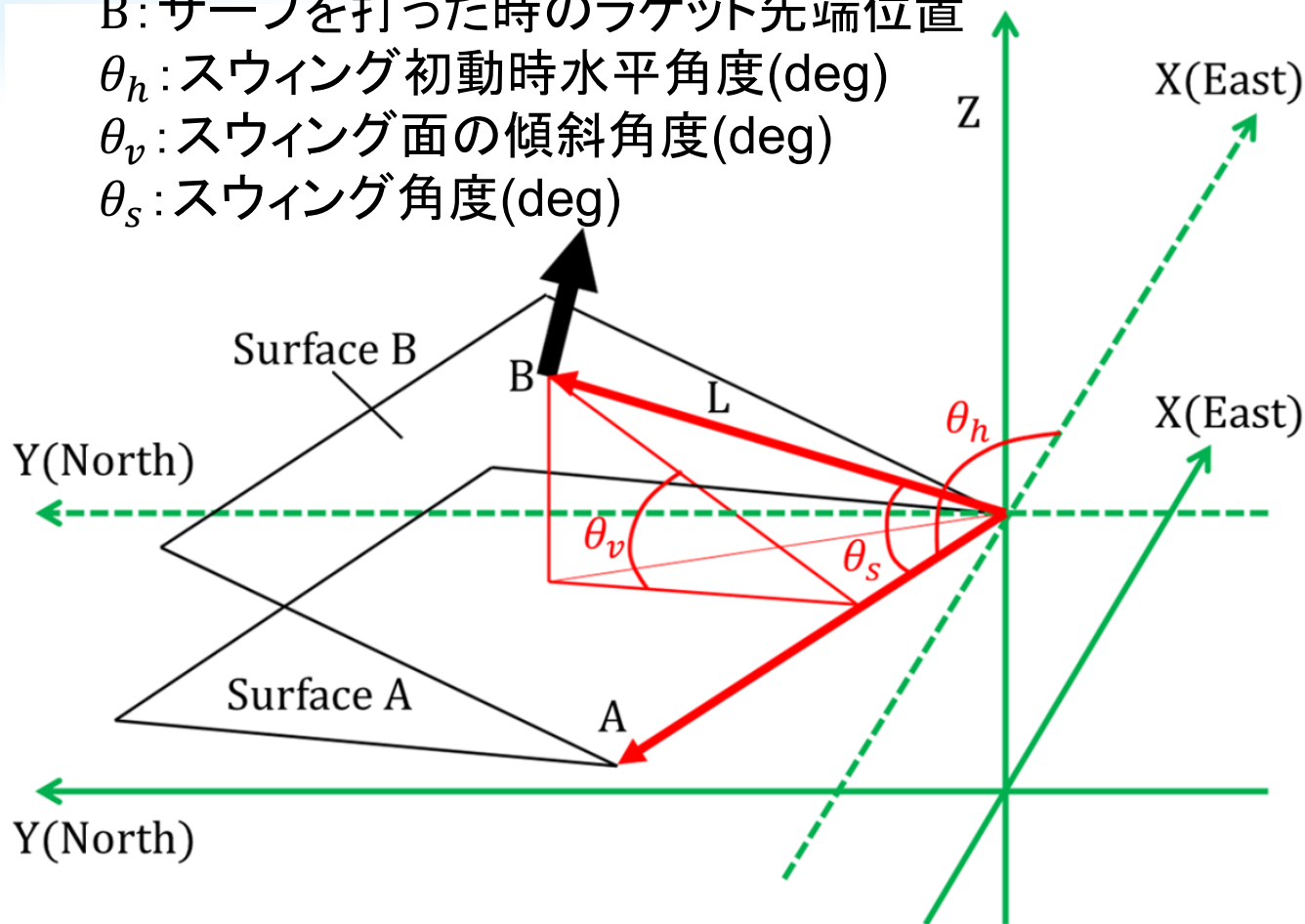
A: サーブを打つ前のラケット先端位置

B: サーブを打った時のラケット先端位置

θ_h : スウィング初動時水平角度(deg)

θ_v : スウィング面の傾斜角度(deg)

θ_s : スウィング角度(deg)



Batting

Short PV Web Application 説明21

基本設定 視点選択 視点を選択できます^{AA} ▼ リセット

θ_v : 30 打球の角度(deg) (水平方向: 0° 垂直方向: 90°)
< >

θ_s : 110 打球の方向(deg) (1塁方向: 45° 3塁方向: 135°)
< >

V_{head} : 120 バットのヘッドスピード(km/h)

V_{ball} : 135 球速(km/h) (投手の投げた球速: ホームベース上)

n_{rot} : 20 打球の回転数(r.p.m.)

L: 1.2 バットの長さ(m) (身体の中からボールが当たる位置までの距離)

S: 硬球 ▼ ボールの種類と重さ

スイング面の高さや風の設定

h_f : 1.5 スイング面の高さ(m)

V_w : 3 風速(m/s)

W_d : 170 風向き(deg) (1塁方向: 45° 3塁方向: 135°)

バッティング

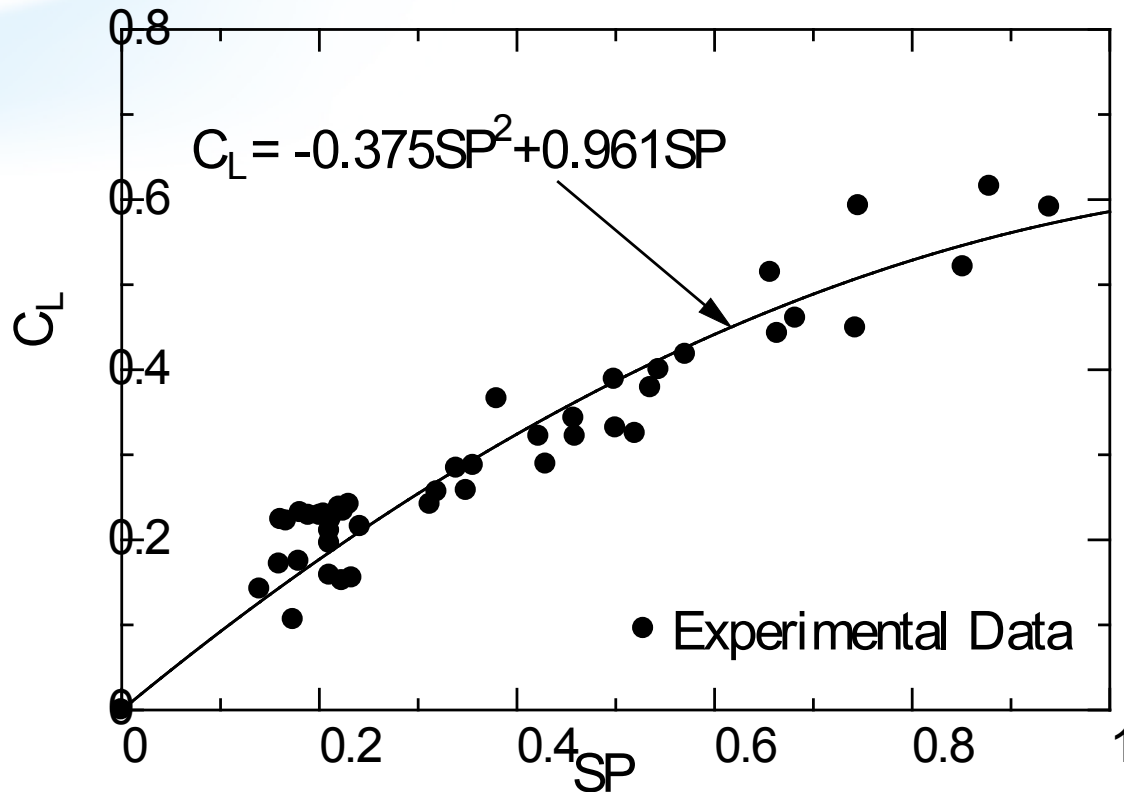
バッティング実行 ⇒ Stop 1つの軌跡消去 全軌跡消去

地図 航空写真

Google 5m 20ft 画像 ©2013 - 利用規約

野球硬式ボールのspin特性

抗力係数 説明22



「硬式野球ボールに働く空気力の測定」(谷口他3名、ながれ
25(2006),257-264)

Shade of Building

Short PV Web Application 説明23

//Shade of Building 2012//

選択時刻の影を表示 選択日の日影図表示 建物削除 Version1 Version2 Version3 ☐ 反射光 リンク更新

建物の設定 直方体

高さ 150 (m)
幅 80 (m) 奥行 30 (m)
方向 90 (度) (幅方向と東西方向のなす角度)
一階あたり高さ 3.5 (m)
窓の高さ 2 (m)

現在日時を取得
東京 (日本UTC+9)
9 月 9 日 10 時 0 分

Search the map! 地図 航空写真

11

1丁目

© 2013 ZENRIN

Google earth

利用規約

太陽方位等の計算

説明24

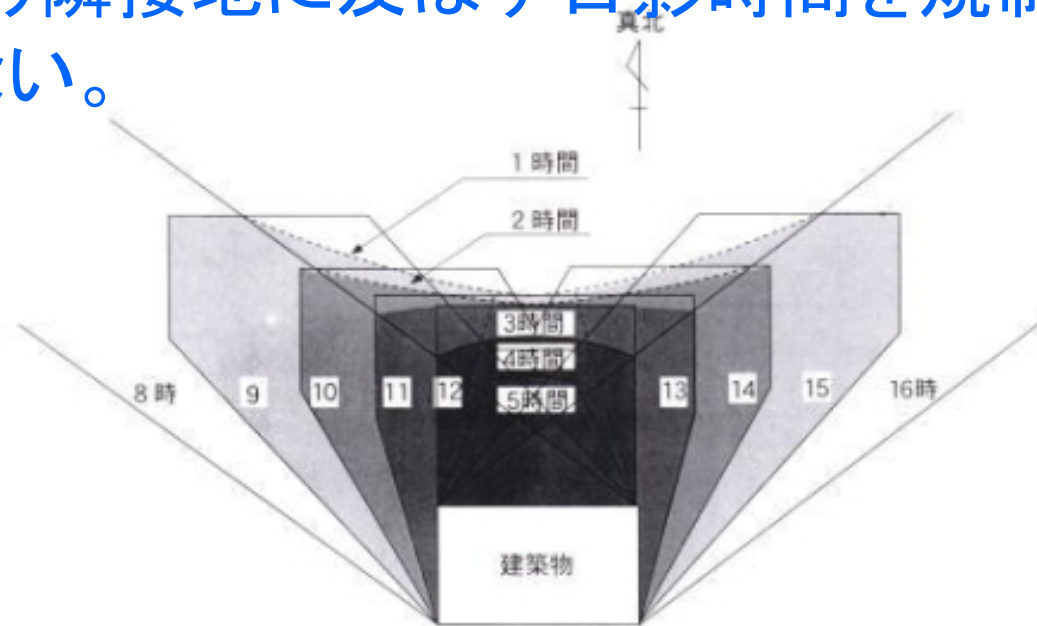
太陽方位、高度、大気外日射量の計算

KML

日影図について

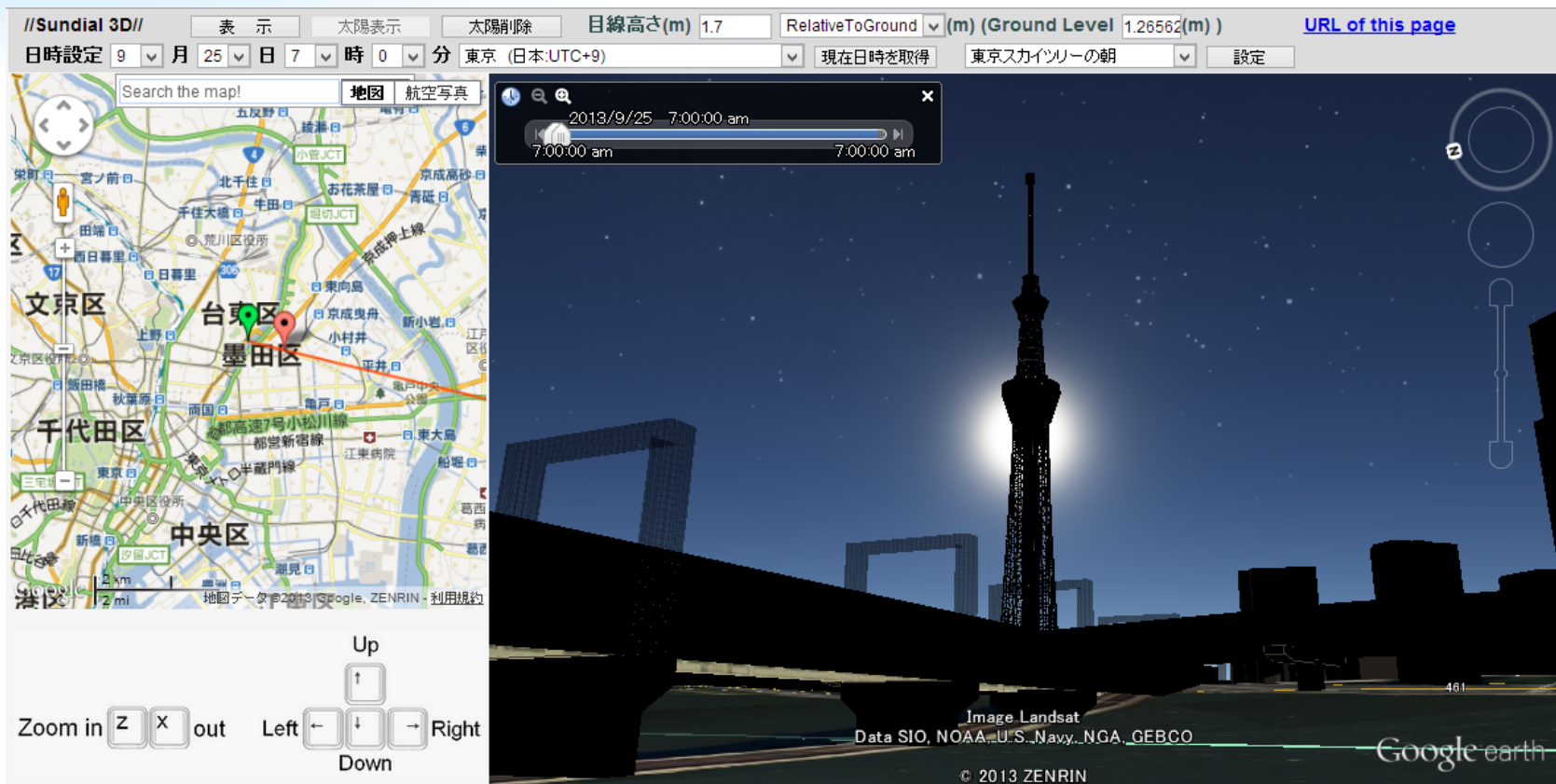
日影図 説明25

冬至日の8時～16時における建築物が造る影を時刻毎に平面図に図化したもの。建築基準法第56条の2により隣接地に及ぼす日影時間を規制しなくてはならない。



Sundial 3D

Short PV Web Application 説明26



Google Earth API 太陽について

説明27

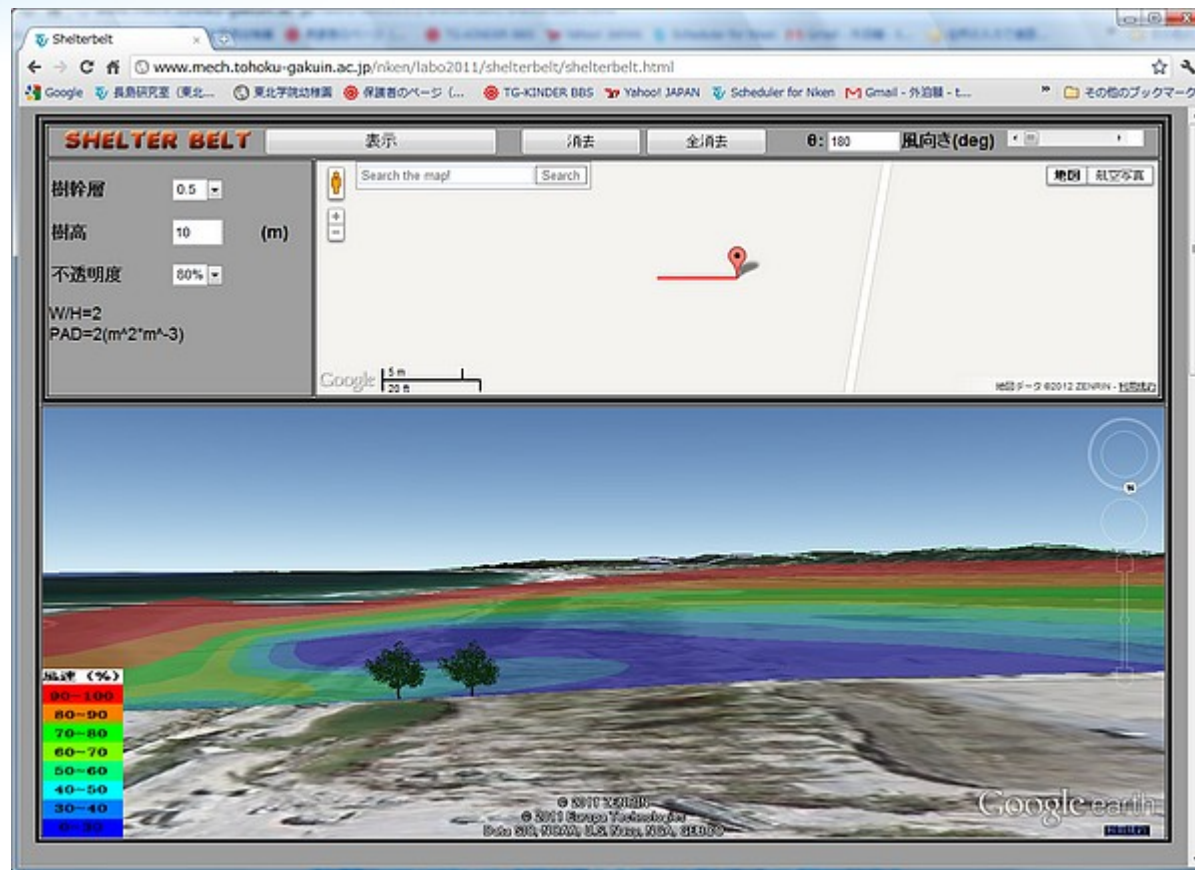
太陽方位、高度、大気外日射量の計算

Google Earth API 太陽

その他のアプリケーション

Shelter Belt

説明28



その他のアプリケーション

Casting

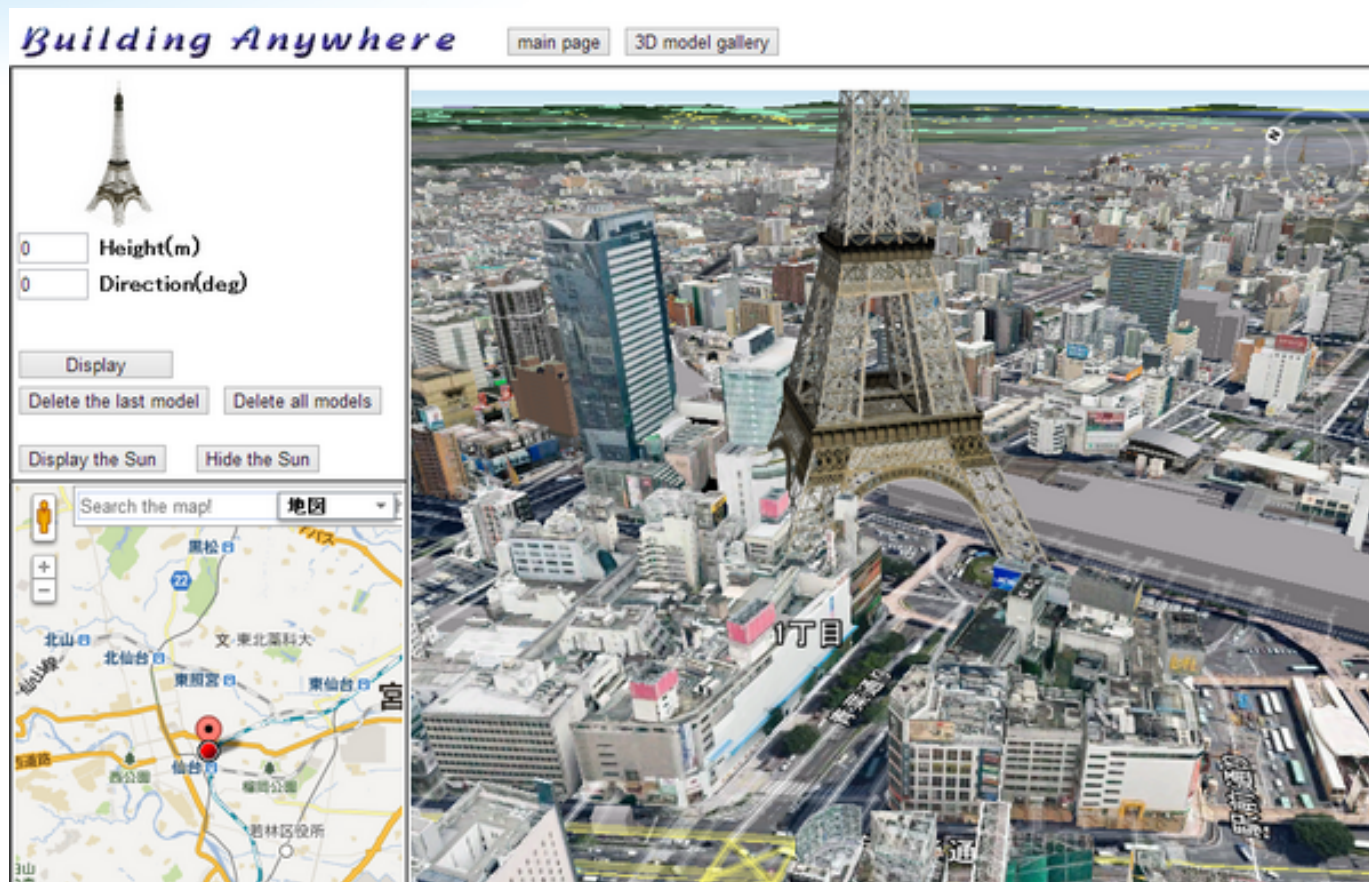
説明29



その他のアプリケーション

Building Anywhere

説明30





お疲れ様でした

最後まで、ご覧いただきありがとうございます。農業、不動産、行楽、開発、工業、気候、環境、スポーツ、災害、交通など人が活動する全てにおいて、Google Earth API を用いたシミュレーションは有用になります。物理計算を始めとして、各分野の専門的情報を組み合わせたWebアプリケーションによって専門的な判断等が一般に解放されることになるでしょう。

説明1

2003年名古屋空港において発生した航空機事故に関して、中型旅客機の主翼先端から発生した随伴渦の挙動を渦法を用いて計算をし、Google Earth APIを利用したWebアプリケーション上で可視化するアプリケーションです。 [戻る](#)

説明2

事故当時、12時35分55秒、管制官は、小型機に対して「滑走路34に着陸支障ありません。風は270° /7kt。ロング・タッチ・アプルーブ。ボーイング737が離陸したので、後方乱気流（以下、「ウェイクターヴュランス」という。）に注意してください」との着陸許可並びにロング・タッチ・アプルーブ及びウェイクターヴュランスに関する情報を通報した。本研究では、滑走路方向の風速や渦の移動距離などの条件を考慮して渦法を用いて解析を行い。詳しい事故条件の検討及び特定を試みた。

戻る

説明3

高度50mで発生した随伴渦は、後続機に到達するためには横風成分が大きくなり、事故位置では強いDownwashあるいはUpwashが発生しない。一方、高度20mから発生した随伴渦は、事故発生時間に、事故発生位置の滑走路上で強いDownwashが発生させる。この条件で後続機は着陸態勢を崩したものと考えられる。

[戻る](#)



説明4

Google Map上の好きな位置をクリックし、高度を設定すると、その場所からの眺望をGoogle Earth上で得ることができます。上下左右方向に視線を向ける、ズーム、上下左右の空間移動が可能です。海中に潜ることもできます。

[戻る](#)



説明5

Google Earth APIのカメラコントロールの機能を利用して、緯度、経度、標高、視点高度、水平方向、垂直傾斜角、ズーム比、横揺れ角度をパラメーターとして視点を設定する関数を設置。

[戻る](#)

説明6

3次元直交座標で計算される物理座標は、Google Earth上で表現するのには、緯度、経度、高度に変換する必要があります。そこで、ある地球上の位置で東向きにX、北向きにYをとったとき、任意の(x,y)から(緯度,経度)に変換する関数を準備しました。実際には、地球上の接平面上の(x,y)の位置から平面に直角に線を下して地球と交わった位置の緯度、経度を算出します。

[戻る](#)

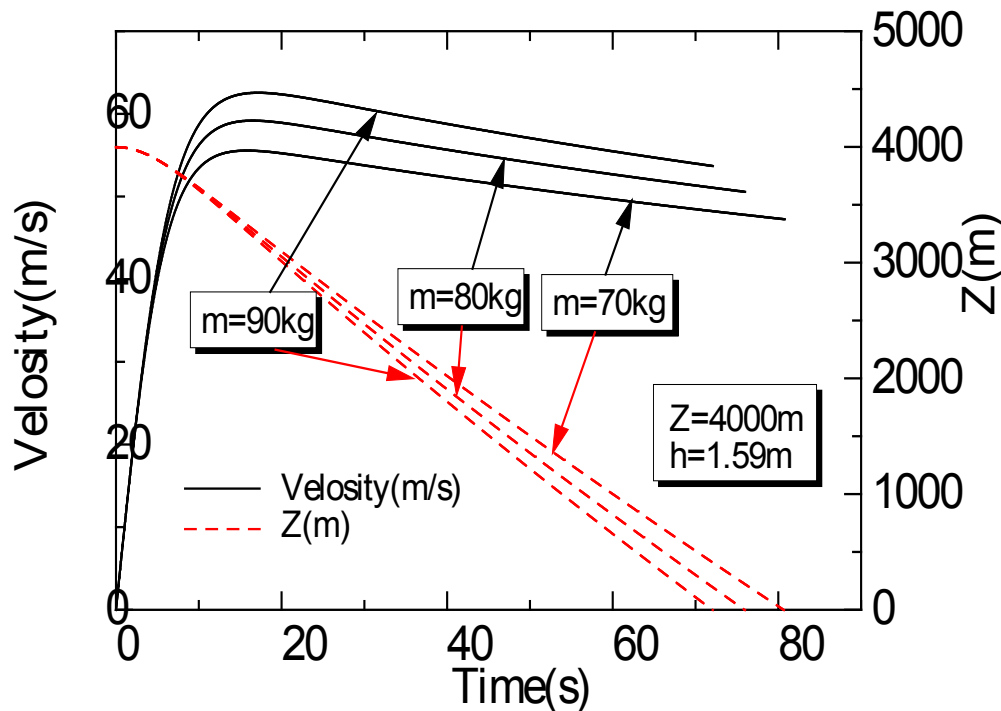
説明7

スカイダイビングシミュレーターは、地球上の任意の位置でのダイビングおよびスクエアパラシュートによる降下および滑空、着地までをシミュレートします。ダイビングには、標高に応じた空気密度の変化を計算に入れています。スクエアパラシュートに関しては、降下速度を考慮した種々の製品がありますので、滑空割合を設定しています。標高をリアルタイムに計算していますので、山間部などの斜面にも着地できます。

[戻る](#)

説明8

高高度では、空気密度が低くなります。気温も高度1000m毎に約 6.5° 低くなります。空気密度が変化しますので、実際には図にあるように終速度はありません。



[戻る](#)



説明9

Route NaviはGoogle Maps APIを利用した自動車あるいは歩行ルート、およびルートにそった標高データに基づいたルート走行動画を描画します。高度は自由に設定可能で、走行中、視線を自由に動かすことができます。

[戻る](#)

説明10

Free Kickは国立競技場においてサッカーのフリーキックを試すことができるアプリケーションです。Google Map上でキッカーの位置、キックする方位、蹴り上げる角度、スピンなどを設定します。ゴール判定もあります。視点位置、視点高度も設定可能です。サッカーボールは2006年FIFA公式球Team Geistに関する流体力特性の実験データを用いた計算を行っています。

[戻る](#)

説明11

2006年FIFA公式球Team Geistに関する流体力特性の実験データです。レイノルス数が20万あたりで抗力が急減する臨界レイノルス数近傍でのデータです。実際のフリーキックに相当するレイノルス数範囲をカバーしています。

[戻る](#)



説明12

2006年FIFA公式球Team Geistに関する流体力特性の実験データです。スピン特性です。このデータにより、フリーキックの複雑な球筋の変化を再現できます。

[戻る](#)



説明13

実際のフリーキックでは、スピン軸を変化させて複雑な変化を与えます。計算では、回転軸を相対風速をもとにしたベクトル計算を行ってボールに作用する流体力を計算しています。

[戻る](#)



説明14

スピンの回転軸は3種類設定できます。

[戻る](#)



説明15

仙台市泉区にあるシェルコム仙台にあるテニスコートでテニスサーブを行います。サーバーやレシーバーの立ち位置や詳細なスイング設定を行うことができます。実際のテニスネットの条件に依ったネット判定ができます。

[戻る](#)



説明16

テニスボールの抗力特性のデータです。ボールによる差があります。

[戻る](#)



説明17

テニスボールのspin特性に関する実験データを用いています。

[戻る](#)



説明18

テニスボールのspin特性に関する実験データを用いています。

[戻る](#)



説明19

テニスボールのสปิน軸の設定は3種類です。

[戻る](#)



説明20

サーブのスイング設定です。ラケットを振り始める方位、スイング面の傾き、スイング角度などを設定できます。

[戻る](#)

説明21

仙台市にあるクリネックススタジアムはドーム球場ではなく、比較的詳細なKMLが既にGoogle Earth上にあります。このアプリケーションは、クリネックススタジアムにおけるバッティングシミュレーターです。硬式ボールの流体力特性を計算にいらしています。視点位置はマップをクリックすることにより自由に設定可能で、自動的に打球を目で追いますので、実際に守備についての選手の体験をすることができます。

[戻る](#)



説明22

硬式ボールのスピンの特性に関する実験データです。

[戻る](#)

説明23

建物による地面の上の影の位置ばかりではなく、3次元的な影を描画することにより、隣接するビルにより日影ができるか否かを観察することができます。影は、日時、緯度、経度により変化します、マップ上をクリックすることにより、自動的に緯度、経度を取得します。建物は複数建てることができ、影ばかりではなく、壁面に太陽が反射することによる光害範囲を描画することもできます。、また、建築基準法に従った日影図を一瞬で描画することができます。これまで、一般の人には得ることができなかったものです。

[戻る](#)



説明24

日時、緯度、経度からの太陽方位等を計算する方法です。

[戻る](#)

説明25

日影は建築基準法により各自治体により定まっています。
[戻る](#)

対象地域	建築基準法 別表第4 (に) 欄	参考			
		制限を受ける 建築物	平均地盤面 からの高さ	日影時間	
				敷地境界線から 10m以内	敷地境界線から 10m超
第一種低層住居 専用地域, 第二種低層住居 専用地域	(1)	軒の高さ7m超 又は 3階以上	1. 5m	3時間	2時間
第一種中高層住 居専用地域, 第二種中高層住 居専用地域	(2)	高さ 10m超	4. 0m	4時間	2. 5時間
第一種住居地域	(2)	高さ 10m超	4. 0m	5時間	3時間
第二種住居地域					
準住居地域					
近隣商業地域					
準工業地域					

説明26

Google Earthの基本設定で太陽を表示することができます。このアプリケーションは、地球上の任意の日時、位置、高度から見た太陽を表示できます。山岳地帯では平地より1時間も早く日没になったりしますので山行において事前確認をすることに有用です。都市部において、建物に太陽が隠れるか否かを確認したりできます。不動産関係、ふおろぐらファーなど、多岐にわたる分野で用いることが期待されます。

[戻る](#)



説明27

Google Earthでの太陽表示に関する説明です。

[戻る](#)

説明28

東日本大震災では、海岸沿いの防風林が被害に遭いました。本アプリケーションは、防風林による防風効果に関する北大の研究成果をもとに、実際に防風効果の範囲をGoogle Earth上に描画するものです。

参考文献： 防風林の構造が気象改良効果に及ぼす影響に関する研究

[戻る](#)



説明29

Google Earth 上で釣りのキャスティングを行います。
錘は37種類から選択できます。

[戻る](#)



説明30

Google Earth 上の任意の位置にGoogle 3Dギャラリーにある建築物を建てることができます。

[戻る](#)