

平成 19 年度

卒 業 論 文

RapLab を利用した都市部の GPS
電波環境シミュレーション

海事システム工学科（情報コース）

学籍番号 0421058

森田 通裕

指導教員 久保 信明

目次

第 1 章 序論

- 1-1 . G P S の概要 1
- 1-2 . 論文の背景 2
- 1-3 . 論文の目的 2

第 2 章 RapLab を利用した解析

- 2-1 . RapLab について 3
- 2-2 . Sketch Up での 3D 地図作成 4
- 2-3 . RapLab での入力画面の説明 5
- 2-4 . RapLab 上での衛星座標の計算 5 ~ 8
- 2-5 . 送信点、受信点の設置 9
- 2-6 . RapLab での出力画面の説明 10

第 3 章 丸ノ内電波環境シミュレーション実験

- 3-1 . 実験方法 11
- 3-2 . 丸の内での可視衛星数 12
- 3-3 . 20 時実験結果 (丸ノ内) 13 ~ 17
- 3-4 . 21 時実験結果 (丸ノ内) 18 ~ 21
- 3-5 . ポイントごとの信号強度の差 22
- 3-6 . 解析結果と考察 23

第 4 章 測位シミュレーション実験

- 4-1 . 測位シミュレーションについて 24
- 4-2 . 各時間・ポイントでの直接波受信数の割合 24 ~ 25
- 4-3 . 各ポイントの 1 日の平均強度 26 ~ 27

第 5 章 総括

- 5-1 . まとめ 28
- 5-2 . 今後の課題 28

第 1 章 序論

1-1 . GPS の概要

GPS (Global Positioning System) は、米国が軍事用に打ち上げた約 30 個の GPS 衛星のうち、上空にある数個の衛星からの信号を GPS 受信機で受け取り、現在位置を知る三次元位置決定のためのシステムである。当初は軍事目的にのみ利用されていたが、やがて民間にも開放されるようになった。GPS 衛星の軌道面は、赤道からの傾斜角 55° と各軌道間隔 60° の全てで 6 軌道あり、高度約 20000 km の軌道を図 1-1-1 が示すように 1 周約 12 時間で周回し、1 年で同じ位置に戻るよう制御されている。測位に必要な 4 機以上の GPS 衛星の直接波を受信できるのであれば、地球上のどこにいても何時であろうと測位ができる。

また、GPS では GPS タイムというものがあり、この時刻の元に運用されている。各衛星にはセシウム原子時計とルビジウム時計を搭載されており、この原子時計は地上の官制システムで管理され、この補正情報を軌道情報と共に衛星が放送している。GPS タイムは 1 週間で 1 回りするように管理されている。また、世界標準時 (UTS) と GPS タイムの違いも管理されている。

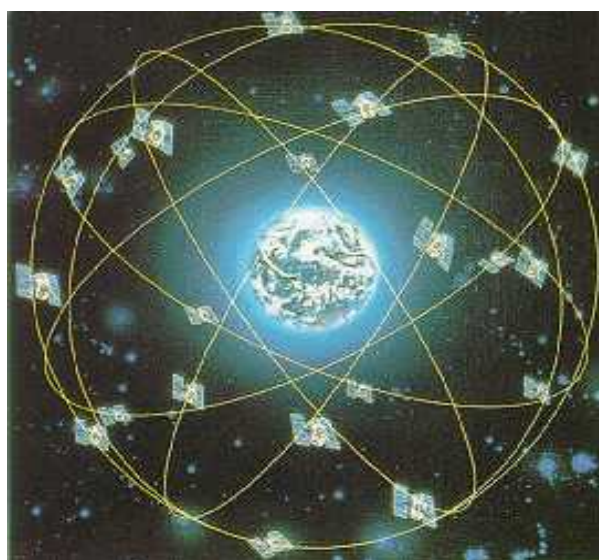


図 1-1-1 ・衛星軌道面イメージ

1-2 . 論文の背景

近年、情報源からの電波を受信し、同一時刻に複数人が情報を得ることができる機器の発達
が著しく見られる。その中で電波環境は非常に重要なものであり、携帯電話や地デジ・ワンセ
グなどでは、すでに電波環境の調査は積極的にされている。GPS においても電波環境は同様に
重要なものである。特に都市部では、高層ビルなどによって電波が妨害され、開けた場所に比
べて精度が劣化する。また、近年は電波機器が発達するのと比例し、都市部では高層ビルが増
加している。今回、そのような環境の中で、GPS の電波環境をシミュレーションし、都市部
における GPS 電波環境の調査、把握をおこなおうと考えた。

都市部での電波環境を調査する中で、GPS では、携帯電話などとは違い電波の送信地点を簡
単に移動することができない。そのため地下では GPS 受信機は使えない。また、常時地球の
周りを周回しているため、送信点はいつも移動している。受信強度も携帯電話などに比べ、高
度約 20000 km から電波が送られてくるため非常に弱い。そのような GPS の環境の中で、電波
環境の調査をおこなっても、送信点を移動できるわけでもなく、改善すべき箇所を見つけられ
るのかとも考えられるが、GPS の電波環境において改善できる箇所はない。それよりも、正確
なシミュレーションをおこなうことで得られる情報が、GPS 測位において重要なものであると
考えられる。

1-3 . 論文の目的

GPS において電波環境は非常に重要なものである。都市部では高層ビルなどによって電波が
妨害され精度が悪化する。その実態を調査するため、市販の RapLab を利用し、都市部におけ
る電波環境シミュレーションをおこない、今後の測位シミュレーションにつなげていくことを
目的とした。

第2章 RapLab を利用した解析

2-1 . RapLab について

- RapLb とは、3D レイトレーシング法を使用した電波伝搬シミュレーションの解析ツール。
 - レイトレーシング法とは、光線追跡法とも呼び、物体の座標データや光源や視点の位置などの環境に関するデータを計算し、画像をレタリングする手法。視点に届く光線を逆にたどることによってレタリングする。物体の表面の反射率や透明度、屈折率などを細かく反映できるのが特徴。
- 電波を可視化してパスを見ることができる。
- 伝搬損失、受信レベルなどをグラフ化し、出力することができる。
- SketchUp で 3D 地図を作成し、解析することができる。



2-2 . SketchUp での 3D 地図の作成



図 2-2-1 ・丸ノ内周辺の地図

今回、都市部の複雑な建物群のイメージとして、東京 - 丸ノ内周辺の建物群の 3D 地図を作成した。

図 2-2-1 はゼンリンの電子地図帳から取ってきた丸ノ内周辺の縦、横 1km 程の範囲の地図である。この地図を SketchUp に貼り付け、建物の高さを調べて図 2-2-2 の 3D 地図を作成した。なお、この 3D 地図では建物の表面の素材は全てコンクリートとしている。

3D 地図の奥が東京駅。

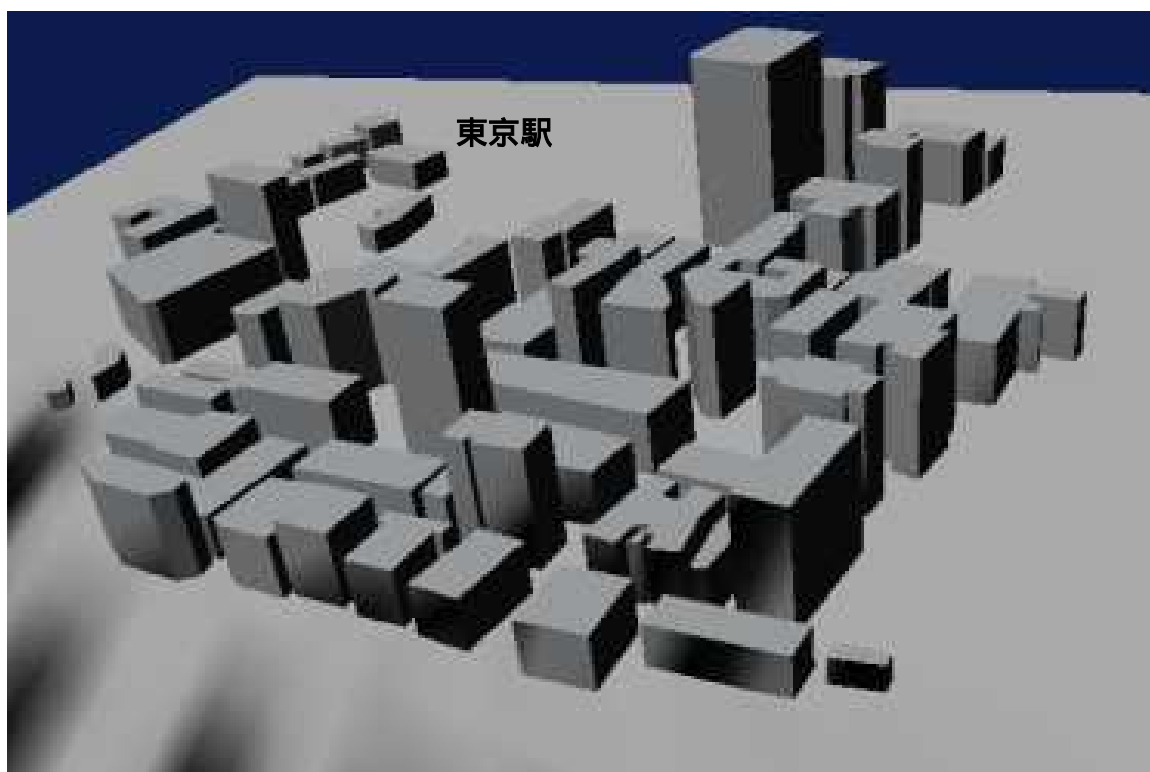


図 2-2-2 ・丸ノ内周辺の 3D 地図

2-3 . RapLab での入力画面の説明

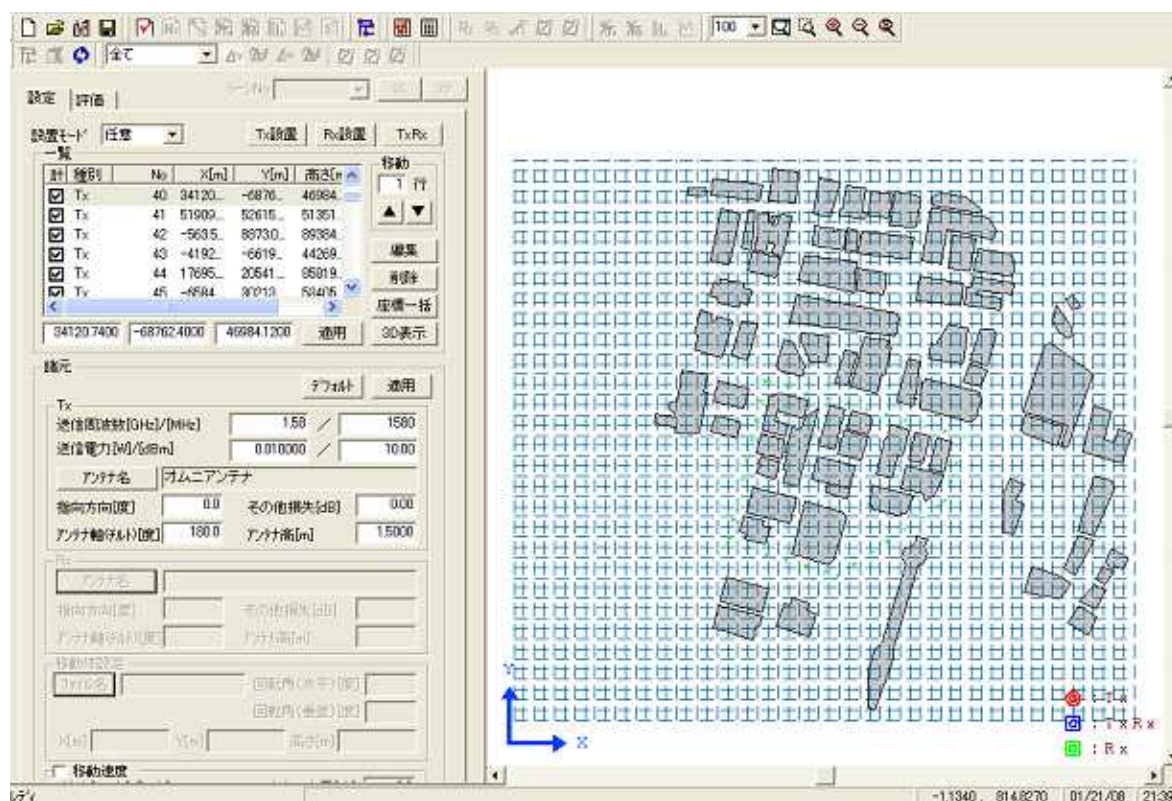


図 2-3-1 ・ RapLab 計算値入力時の画面

図 2-3-1 は RapLab での計算値入力時の画面である。Tx (送信点) Rx (受信点) の設置、送信電力、受信機の種類などを入力することができる。GPS 衛星とみだた Tx は、二次元の x、y 軸と、高さを表す z 軸を設定することで位置を決定する。本来高度約 20000 km を飛行している GPS 衛星であるが、RapLab の性能上、送信点を設置するポイントが、基点より 99 km で限界なため、送信点 (GPS 衛星) と受信点間の距離を約 90 km として、送信電力を開けた場所で仰角によって 35dB/Hz ~ 50dB/Hz にあるように調整した。

2-4 . RapLab 上での衛星座標の計算

RapLab 上で Tx (送信点) の設置をおこなう際、送信点と受信点間の距離をを約 90 km とした GPS 衛星の x、y、z 座標が必要となる。まず、YUMA アルマナック (YUMA アルマナックは、GPS 衛星の概略位置を求めるための暦で、U.S. Coast Guard の Web ページで公開されている。この暦は GPS 週毎の各 GPS 衛星の軌道要素と GPS 時計の補正パラメタ及び衛星の状態に関する情報で構成されており、数 km 程度の精度で GPS 衛星の位置を求めることが可能である。アメリカが毎週送信している GPS 衛星の情報。) の情報から、東京海洋大学の場所を基点とする座標変換をおこない、アジマスと仰角を求めなければならない。

ユーザーの緯度・経度を $lat \cdot lon$ とし、緯度・経度にラジアン変換をおこなったものを、 $lat \cdot lon$ とすると、

$$lat = lat \frac{\pi}{180} \quad lon = lon \frac{\pi}{180}$$

となる。次にユーザーの位置を基点とするための緯度・経度の座標変換をおこなう。アルマナックからの情報による衛星位置を (x, y, z) 、ユーザーの位置情報を (x', y', z') とし、経度変換されたものを $(lonx, lony, lonz)$ とすると、

$$\begin{aligned} lonx &= \cos lon (x - x') + \sin lon (y - y') \\ lony &= -\sin lon (x - x') + \cos lon (y - y') \\ lonz &= z - z' \end{aligned}$$

となる。次に緯度変換されたものを $(latx, laty, latz)$ とすると、

$$\begin{aligned} latx &= \cos lat \cdot lonx - \sin lat \cdot lonz \\ laty &= lony \\ latz &= \sin lat \cdot lonx + \cos lat \cdot lonz \end{aligned}$$

となる。緯度・経度変換されたものより衛星の座標補正をおこなう。補正された衛星の座標を $(satx, saty, satz)$ とすると、

$$\begin{aligned} satx &= \cos\left(\frac{1}{2}\right) \cdot latx + \sin\left(\frac{1}{2}\right) \cdot laty \\ saty &= -\sin\left(\frac{1}{2}\right) \cdot latx + \cos\left(\frac{1}{2}\right) \cdot laty \\ satz &= latz \end{aligned}$$

となる。以上で座標変換をおこない、衛星の補正位置が求められた。次に衛星の補正位置より、仰角とアジマスを求める。仰角を ele とすると、

$$\tan ele = \frac{satz}{\sqrt{satx^2 + saty^2}}$$

となる。上記の式に逆関数 atan (アークタンジェント) を用いて ele を求めると、

$$ele = \text{atan} \frac{satz}{\sqrt{satx^2 + saty^2}} \cdot \frac{180}{\pi}$$

となる。以上で仰角は求められ、次にアジマスを求める。アジマスを azi とすると、

$$\tan azi = \frac{satx}{saty}$$

となる。 azi の範囲は $0 \sim 360^\circ$ であるから、各象限で場合わけをおこない、逆関数 atan を用いて azi を求めると、

$$(satx \geq 0, saty \geq 0) \quad ele = a \tan \frac{satx}{saty} \cdot \frac{180}{1} \quad (0 < ele \leq 90)$$

$$(satx \geq 0, saty \leq 0) \quad ele = 90 + a \tan \frac{saty}{satx} \cdot \frac{180}{1} \quad (90 < ele \leq 180)$$

$$(satx \leq 0, saty \leq 0) \quad ele = 180 + a \tan \frac{saty}{satx} \cdot \frac{180}{1} \quad (180 < ele \leq 270)$$

$$(satx \leq 0, saty \geq 0) \quad ele = 270 + a \tan \frac{saty}{satx} \cdot \frac{180}{1} \quad (270 < ele \leq 360)$$

となる。以上で仰角とアジマスが求められた。次に求められた仰角、アジマスより、RapLab に入力する測位点てんから 90 km となるような GPS 衛星の座標を求める。RapLab に入力する座標を (X、Y、Z) とすると、

$$(0 < ele \leq 90) \quad X = 90 \cdot \cos\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right) \cdot \sin\left(azi \cdot \frac{180}{180} \right)$$

$$Y = 90 \cdot \cos\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right) \cdot \cos\left(azi \cdot \frac{180}{180} \right)$$

$$Z = 90 \cdot \sin\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right)$$

$$(90 < ele \leq 180) \quad X = 90 \cdot \cos\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right) \cdot \cos\left(azi \cdot \frac{180}{180} - \frac{180}{2} \right)$$

$$Y = -90 \cdot \cos\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right) \cdot \sin\left(azi \cdot \frac{180}{180} - \frac{180}{2} \right)$$

$$Z = 90 \cdot \sin\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right)$$

$$(180 < ele \leq 270) \quad X = -90 \cdot \cos\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right) \cdot \sin\left(azi \cdot \frac{180}{180} - \frac{180}{2} \right)$$

$$Y = -90 \cdot \cos\left(ele \cdot \frac{180}{180} \right) \cdot \cos\left(azi \cdot \frac{180}{180} - \frac{180}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 & Z = 90 \cdot \sin\left(\frac{ele}{180}\right) \\
 (270 < ele \leq 360) \quad & X = -90 \cdot \cos\left(\frac{ele}{180}\right) \cdot \cos\left(\frac{azi}{180} - \frac{3}{2}\right) \\
 & Y = 90 \cdot \cos\left(\frac{ele}{180}\right) \cdot \sin\left(\frac{azi}{180} - \frac{3}{2}\right) \\
 & Z = 90 \cdot \sin\left(\frac{ele}{180}\right)
 \end{aligned}$$

となる。以上より求めた衛星座標 (X、Y、Z) を RapLab に入力し、シミュレーションをおこなった。

2-5 . 送信点、受信点の設定

Tx諸元

送信周波数[GHz]/[MHz] /

送信電力[W]/[dBm] /

アンテナ名

指向方向[度] その他損失[dB]

アンテナ軸(ギルト)[度] アンテナ高[m]

電気チルト角[度]

偏波設定

直線 右回り円偏波 左回り円偏波

広帯域

帯域幅[MHz]

刻み幅[MHz]

初期位相[度]

偏波角度[度]

図 2-5-1 ・ 送信点設定画面

図 2-5-1 は送信点の設定画面である。送信電力の調整、アンテナ高、偏波設定などをおこなうことができる。今回、送信周波数を 0.001GHz/MHz、送信電力を 0.001W/dBm として、偏波を右回り円偏波とした。

Rx諸元

アンテナ名

指向方向[度] その他損失[dB]

アンテナ軸(ギルト)[度] アンテナ高[m]

電気チルト角[度]

偏波設定

直線 右回り円偏波 左回り円偏波

位相[度]

偏波角度[度]

ドップラー計算設定

移動速度[km/h]/[m/s] /

移動方向

水平[度]

垂直[度]

図 2-5-2 ・ 受信点設定画面

図 2-5-2 は受信点の設定画面である。受信アンテナの種類、アンテナ高などの設定をおこなうことができる。今回、アンテナは標準 GPS アンテナとして、アンテナ高は地面より 1.5m の部分にあるよう統一している。

2-6 . RapLab での出力画面の説明

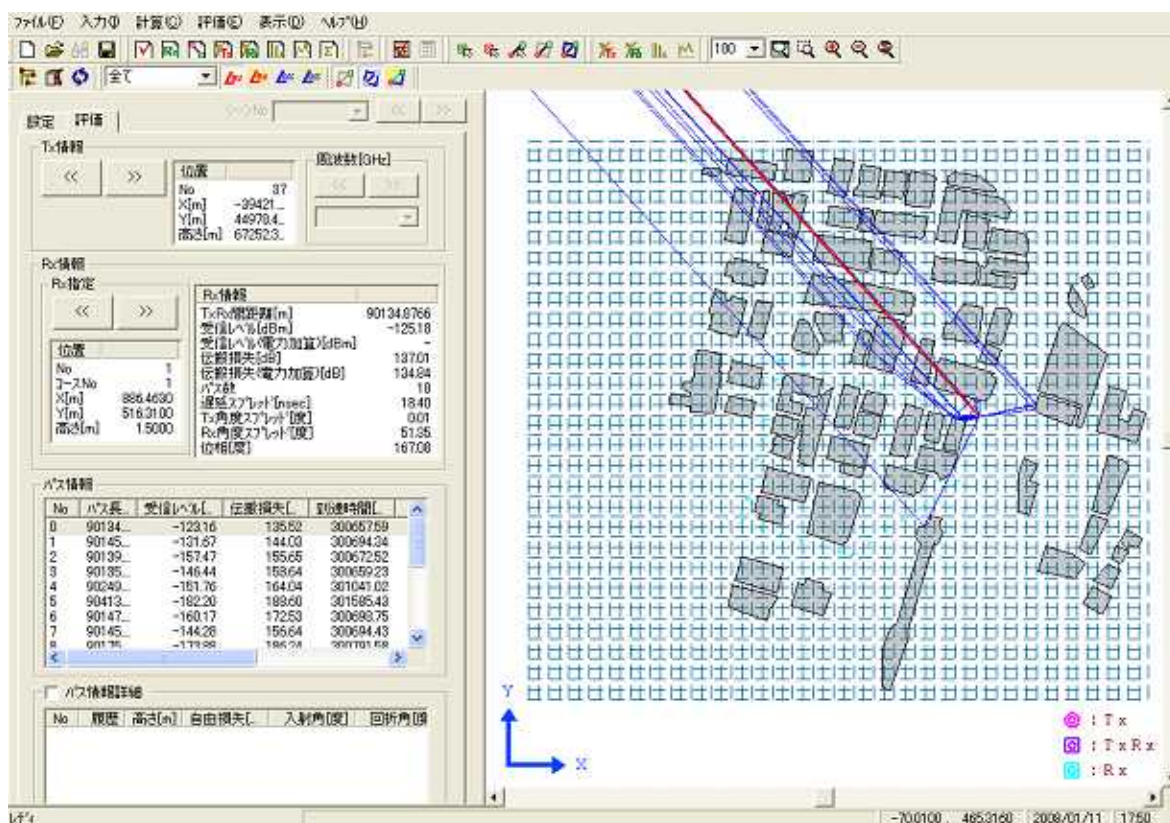


図 2-6-1 ・ RapLab 出力画面

図 2-6-1 は RapLab での出力画面である。赤線が直接波、青線が回折、反射したものを表している。この画面ではパス長、受信レベル、伝搬損失、到達時間などが表示される。

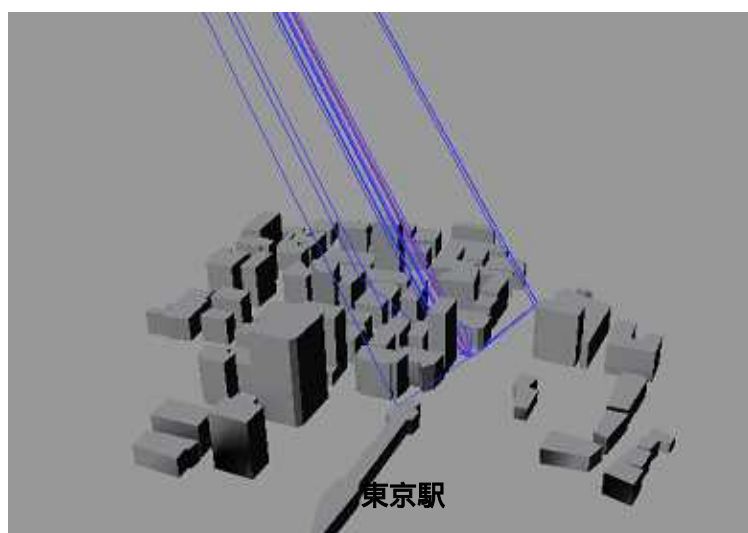


図 2-6-2 は RapLab の出力画面を 3D 表示したものの、出力画面と同じように、赤線が直接波、青線が回折、反射したものを表している。

3D 表示画面の手前が東京駅

図 2-6-2 ・ RapLab 出力画面 3D 表示

第3章 丸ノ内電波環境シミュレーション実験

3-1．実験方法

実験は丸ノ内周辺をイメージして作成した3D地図を使用し、RapLabでシミュレーションをおこない、実際に丸ノ内周辺で集計したデータとの比較、検討をした。実測データは12月19日の20時(19:45~20:15)と21時(20:45~21:15)に車両で集計し、それに合わせてシミュレーションも12月19日の衛星状況を想定したものでおこなう。

シミュレーションでは時系列に合わせての受信点の移動が不可能であるため、20時、21時の衛星位置からの送信電波を36箇所のポイントで受信するものとした。それに合わせて、集計データの時系列から、解析データの36箇所のポイントから近いポイントのデータを抽出し、信号強度の比較をおこなう。

仰角 10° 以上の可視衛星についてのみ解析をおこなう。また、電波の回折回数、反射回数共に1回ずつとする。

信号強度が 6dB/Hz ($0\text{dB/Hz} = -165\text{dBm}$)以下は受信しないものとした。



図3-1-1は上記で書いた36箇所のポイントの設置場所を表した地図。白点が各解析ポイント。車両で実測したデータは1のポイントから36のポイントに向かうよう矢印の方向に進んだ。ポイントもそれぞれ矢印の方向に1から36ポイントと順番になっている。

図3-1-1・解析ポイント

3-2 . 丸ノ内での可視衛星数

可視衛星とは、観測者の位置から電波を受信できる位置にある衛星のこと。水平線を 0° 、天頂を 90° と考えて、その範囲内にある衛星数を可視衛星数という。今回の実験では仰角 10° 以上に位置しているものとしている。

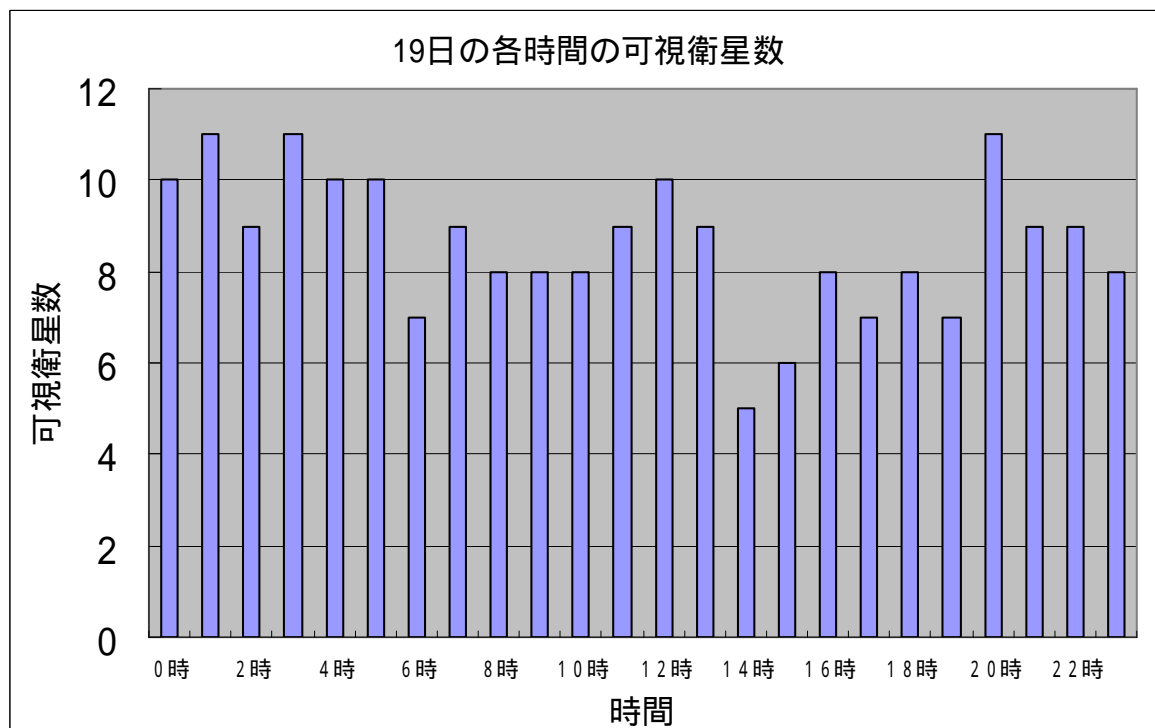


図 3-2-1・12月19日の各時間の可視衛星数

図 3-2-1 のグラフは 12 月 19 日の各時間の可視衛星数を表している。20 時には 11 個、21 時には 9 個の衛星がそれぞれ見えていることがわかる。

20 時 (2 番衛星、4 番衛星、6 番衛星、7 番衛星、8 番衛星、10 番衛星、15 番衛星、
24 番衛星、25 番衛星、26 番衛星、27 番衛星)

21 時 (2 番衛星、6 番衛星、7 番衛星、8 番衛星、10 番衛星、15 番衛星、24 番衛星、
26 番衛星 27 番衛星)

3-3 . 20 時実験結果 (丸ノ内)

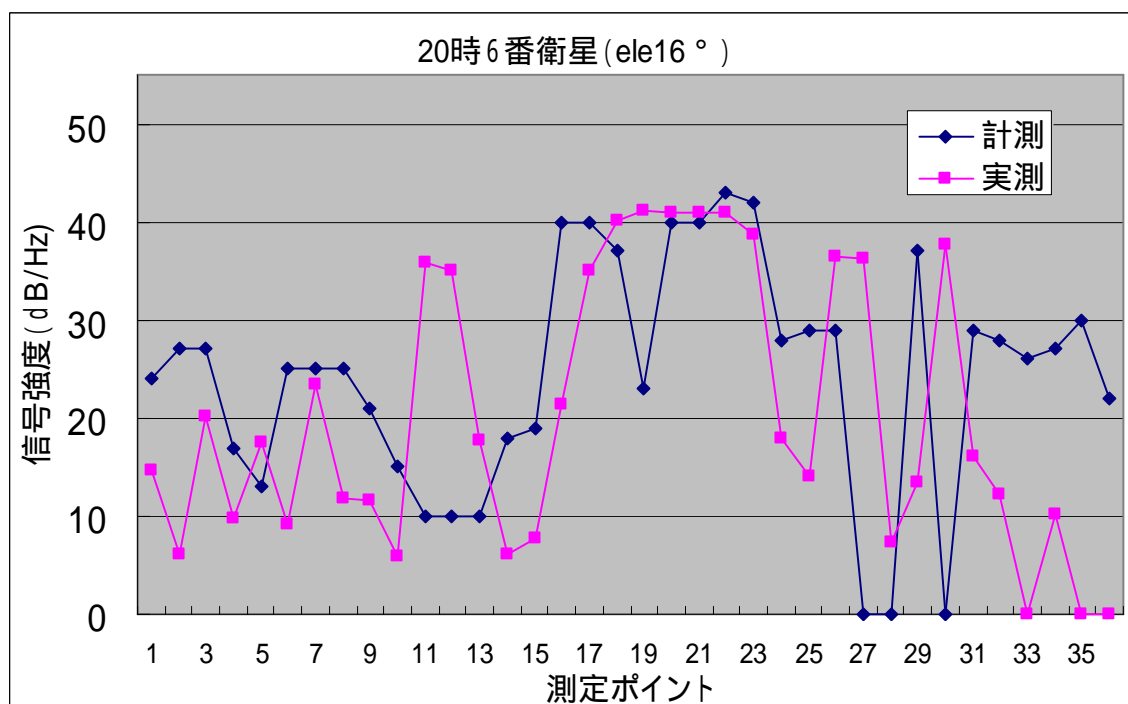


図 3-3-1・20 時 6 番衛星の信号強度変化

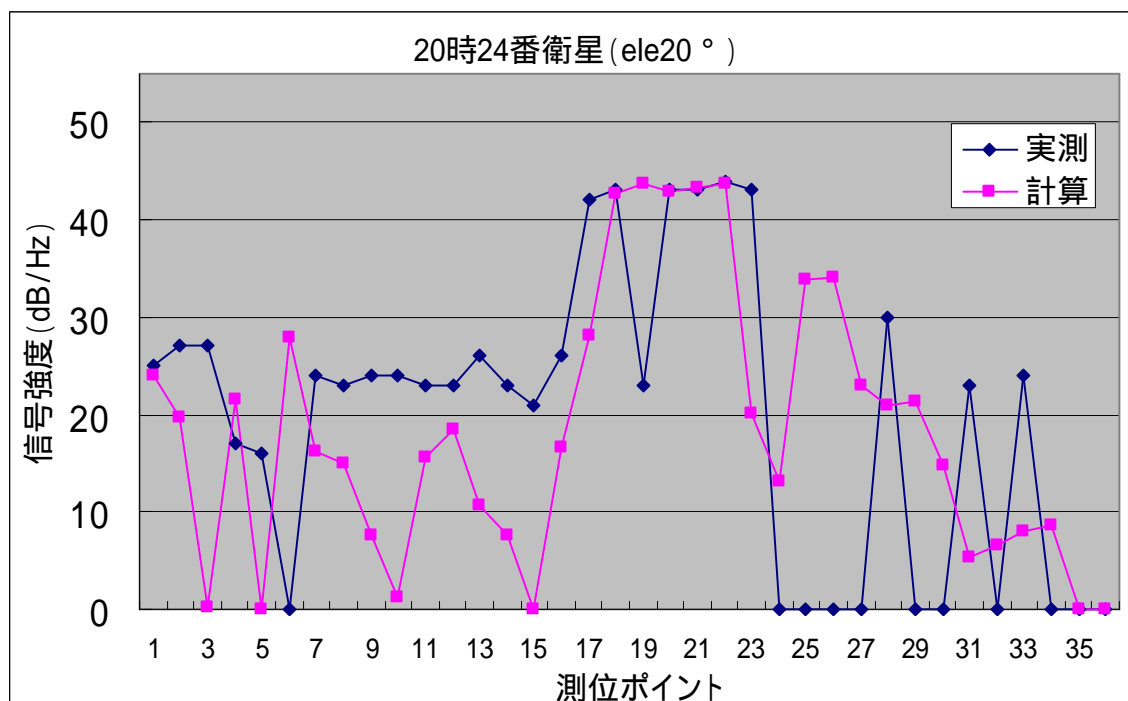


図 3-3-2・20 時 24 番衛星の信号強度変化

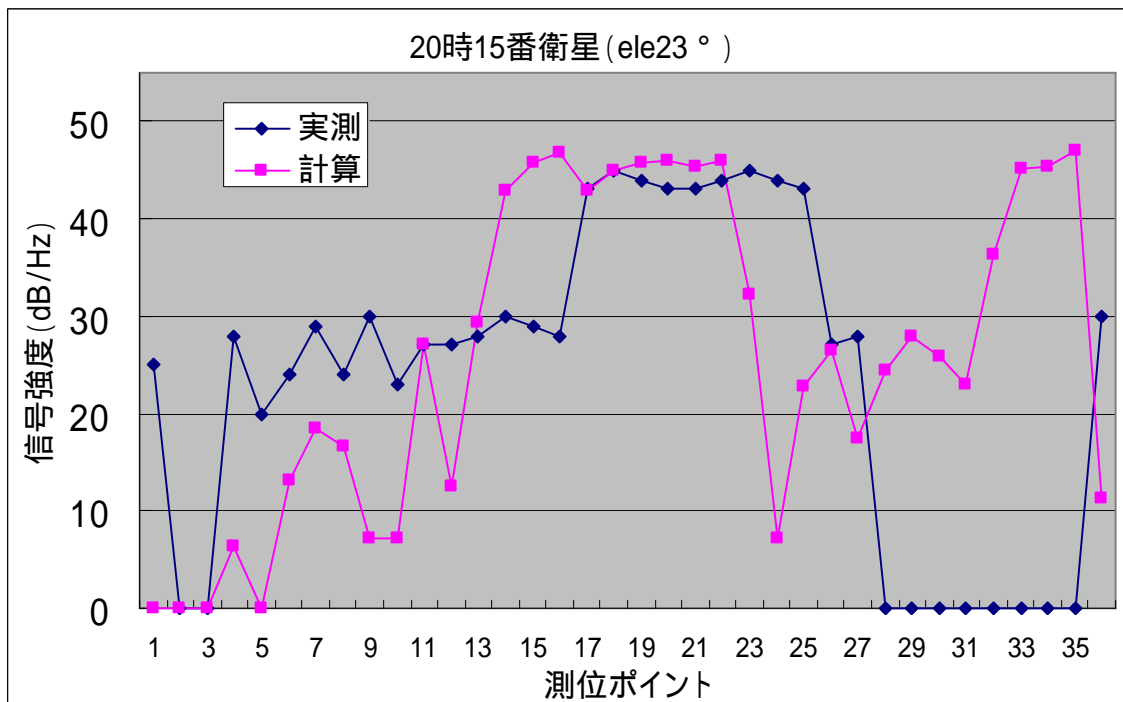


図 3-3-3・20 時 15 番衛星の信号強度変化

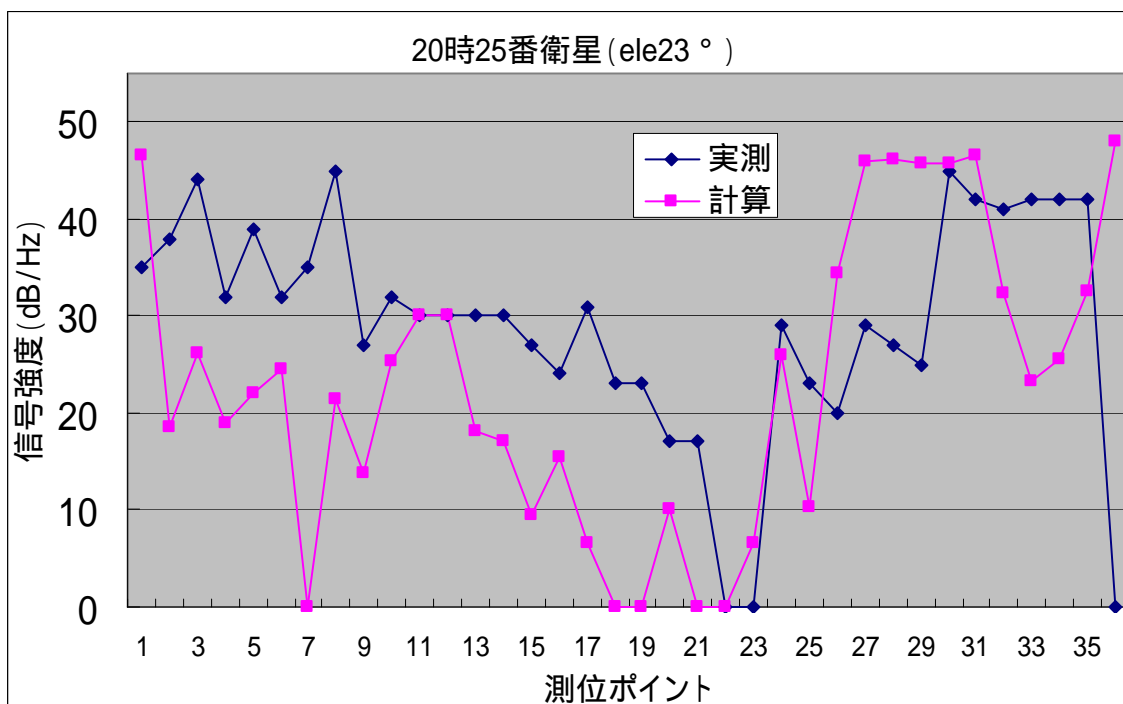


図 3-3-4・20 時 25 番衛星の信号強度変化

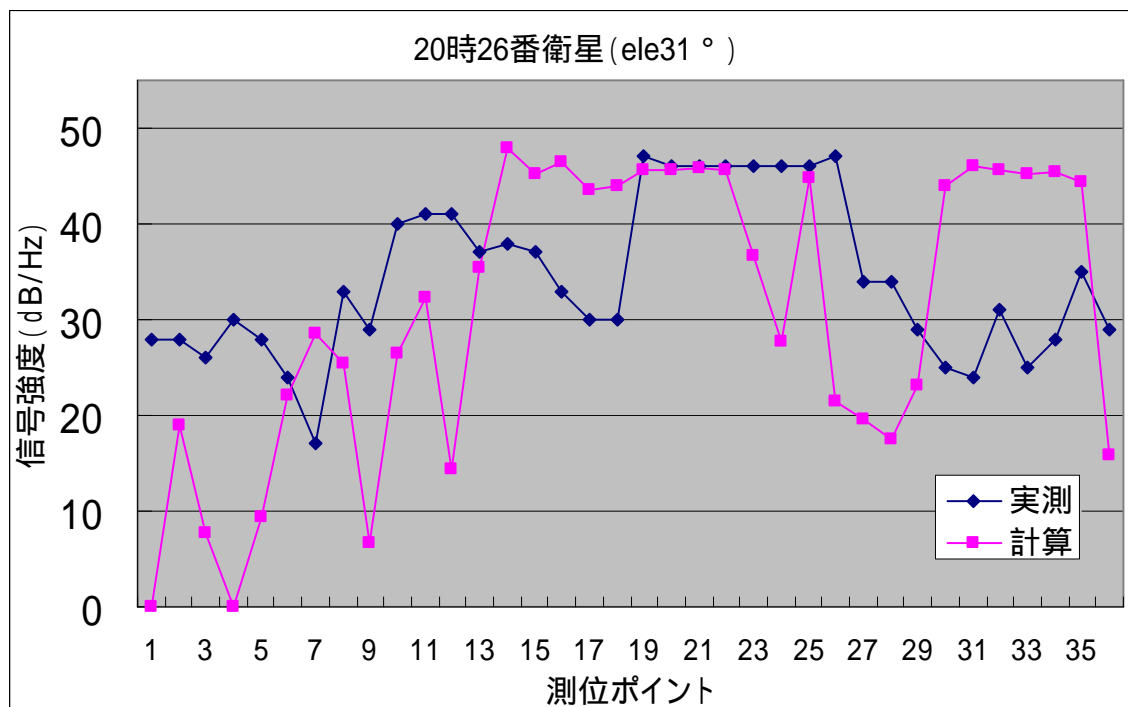


図 3-3-6・20 時 26 番衛星の信号強度変化

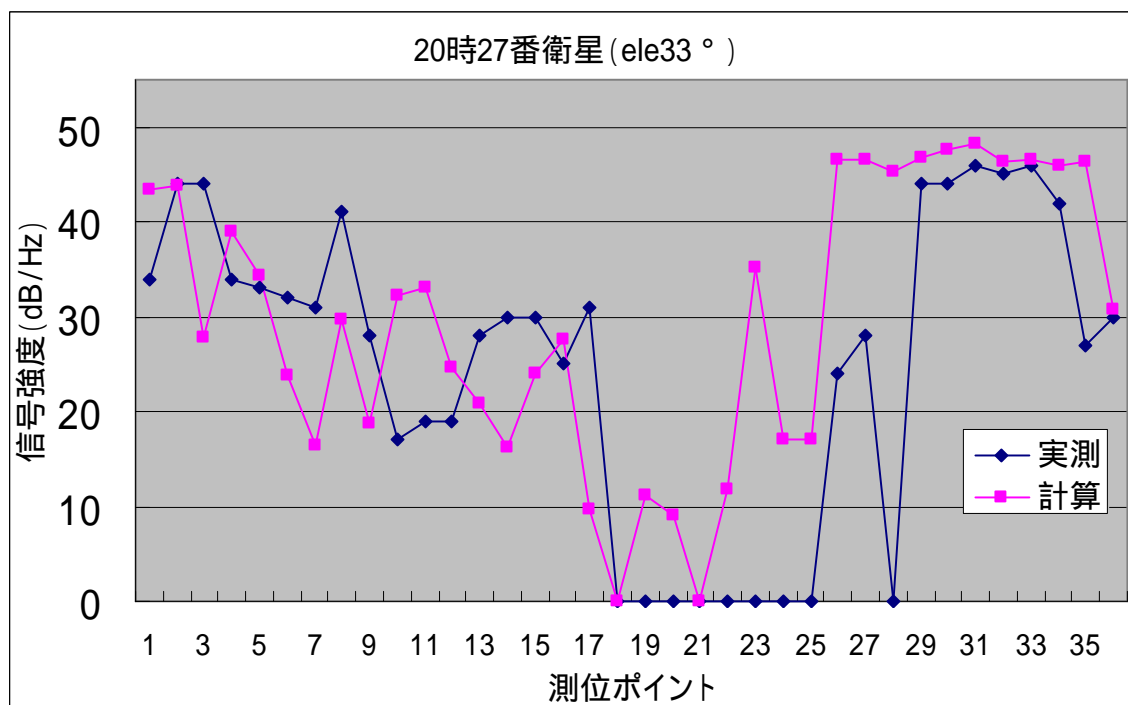


図 3-3-7・20 時 27 番衛星の信号強度変化

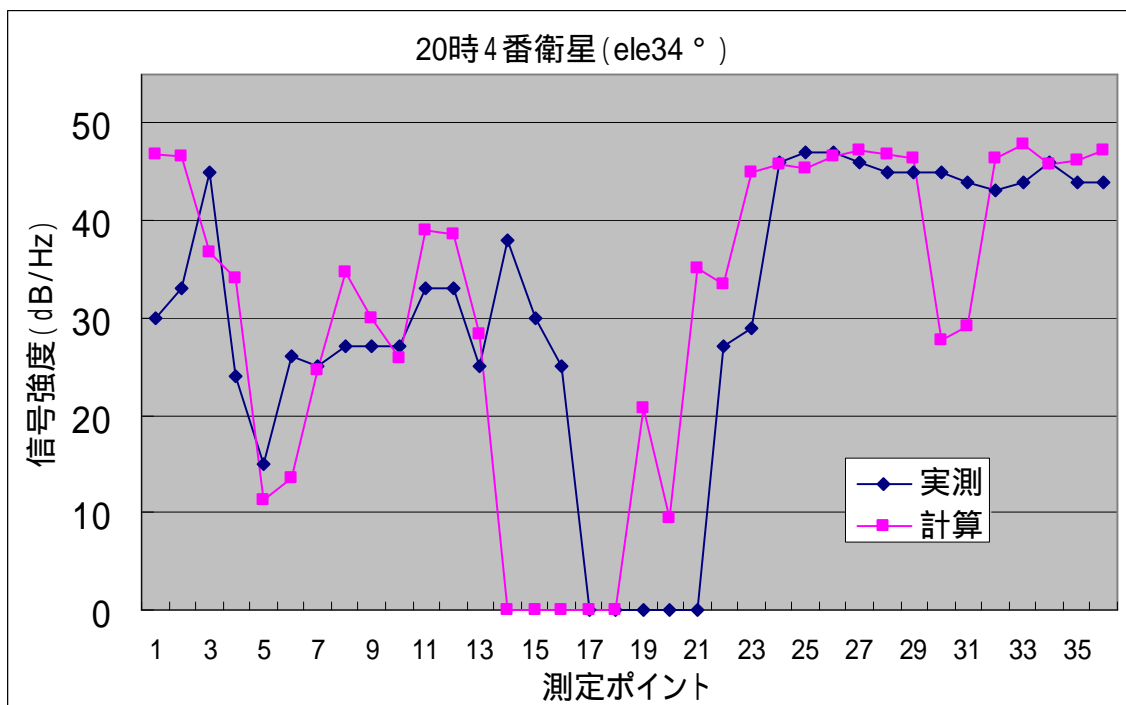


図 3-3-8・20 時 4 番衛星の信号強度変化

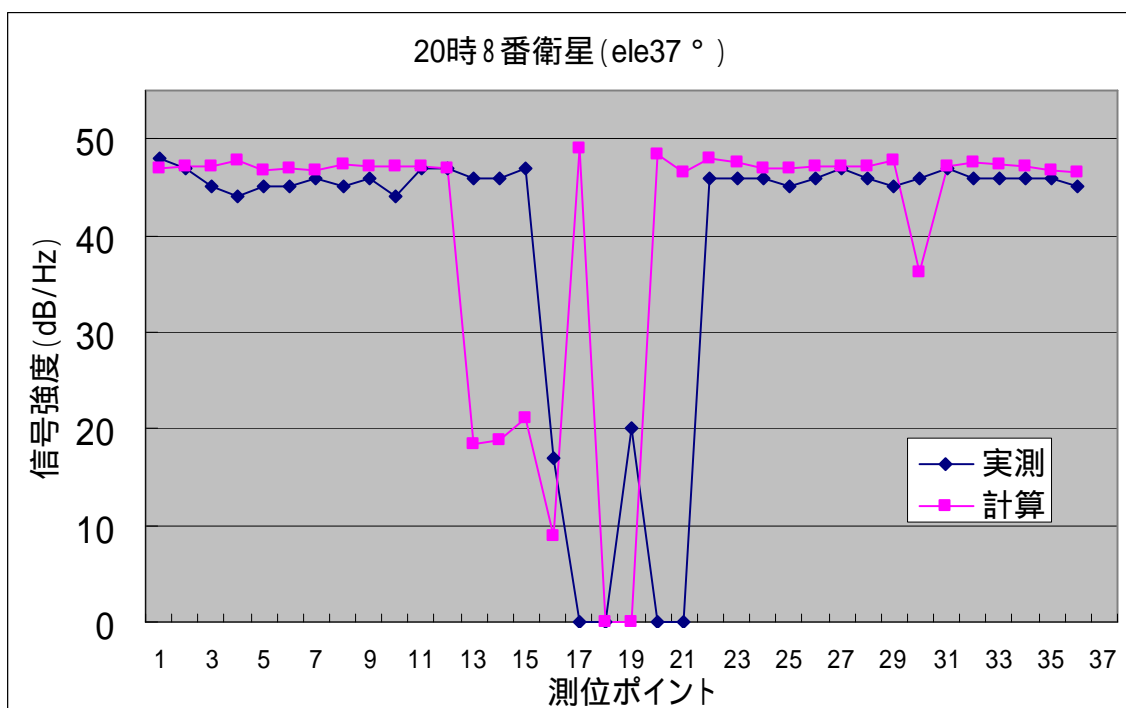


図 3-3-9・20 時 8 番衛星の信号強度変化

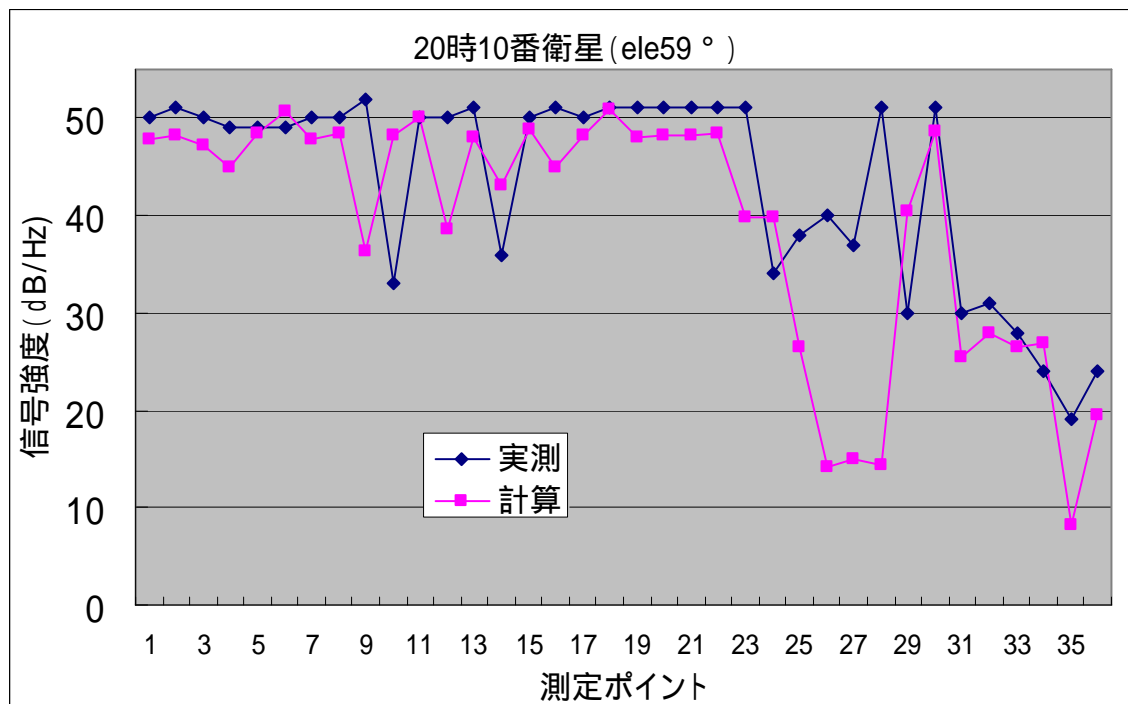


図 3-3-10・20 時 10 番衛星の信号強度変化

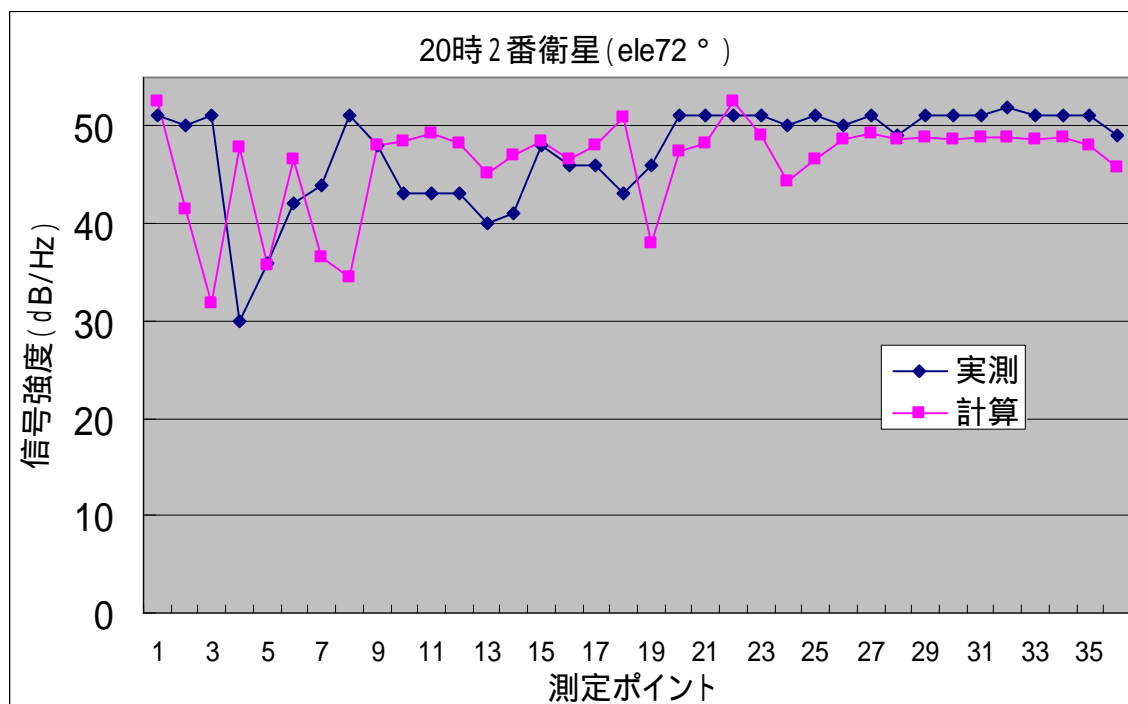


図 3-3-10・20 時 2 番衛星の信号強度変化

3-4 . 21 時解析結果 (丸ノ内)

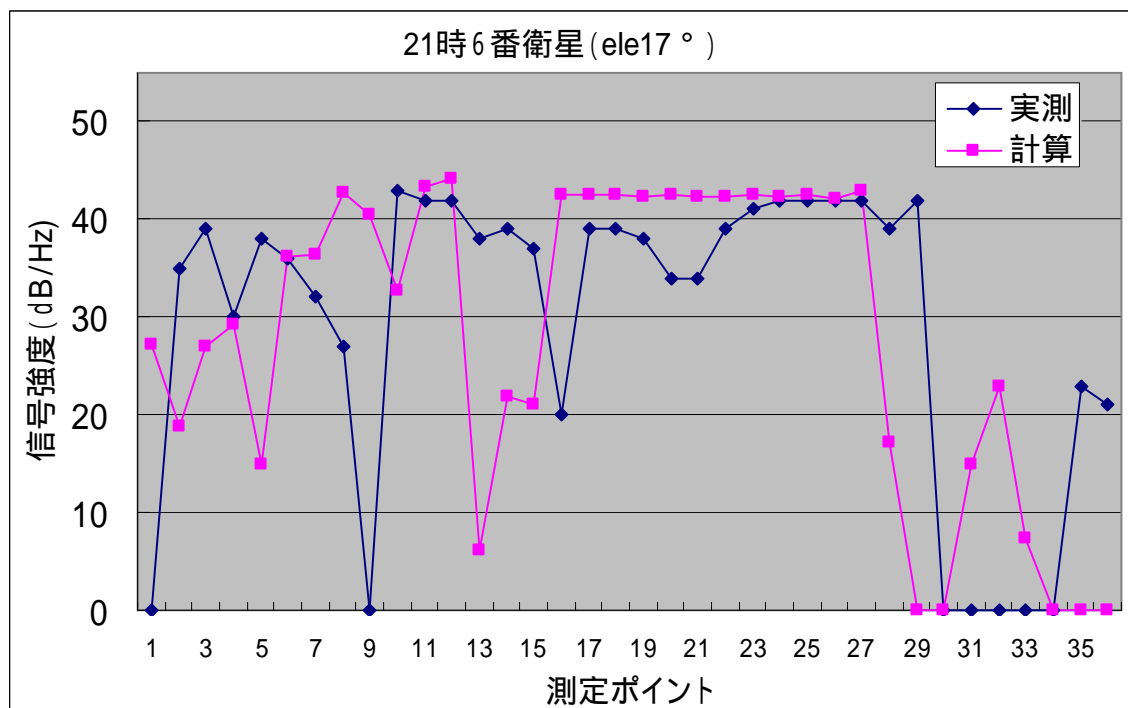


図 3-4-1・21 時 6 番衛星の信号強度変化

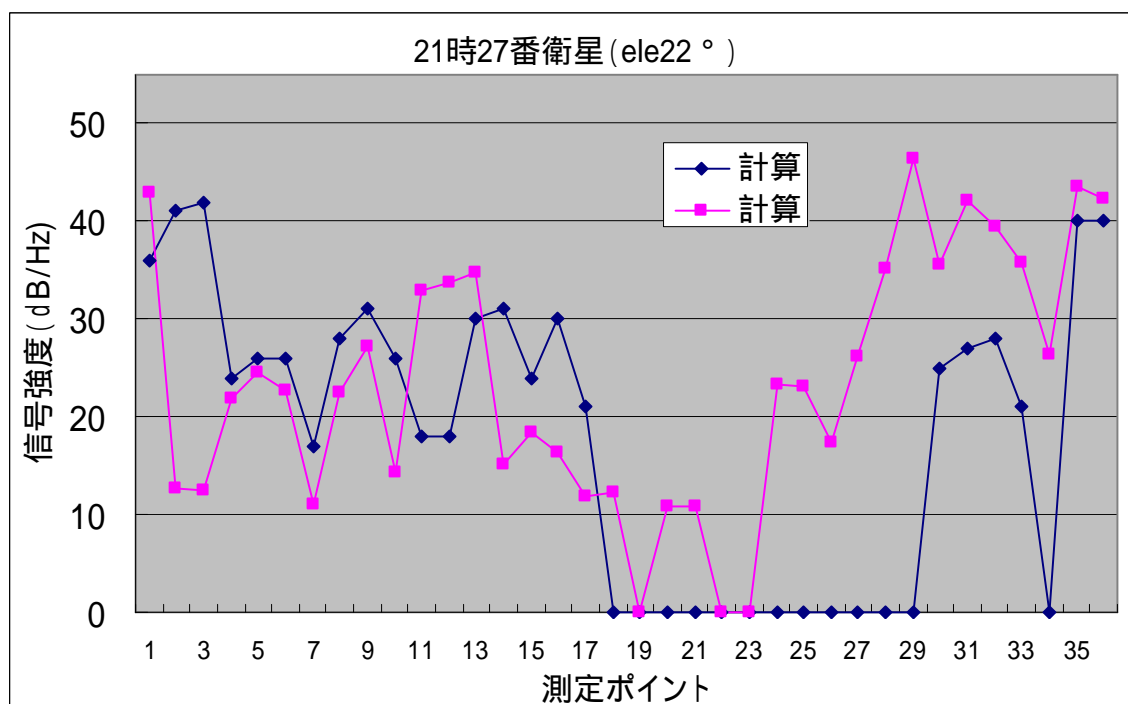


図 3-4-2・21 時 27 番衛星の信号強度変化

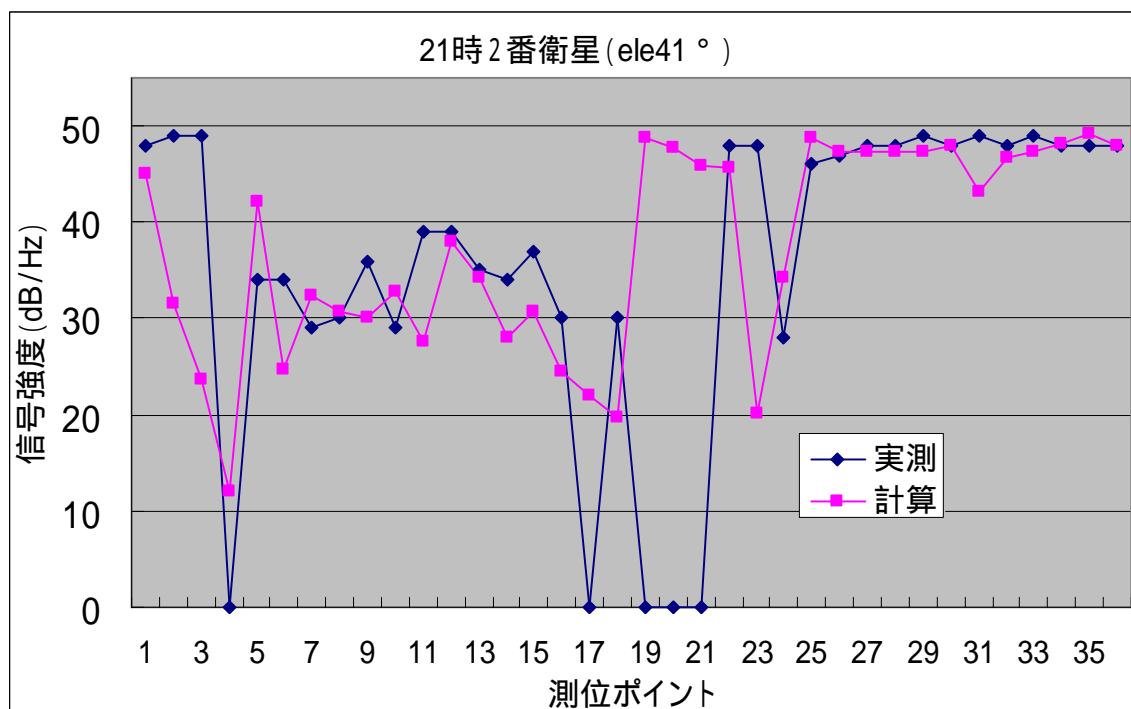


図 3-4-3・21 時 2 番衛星の信号強度変化

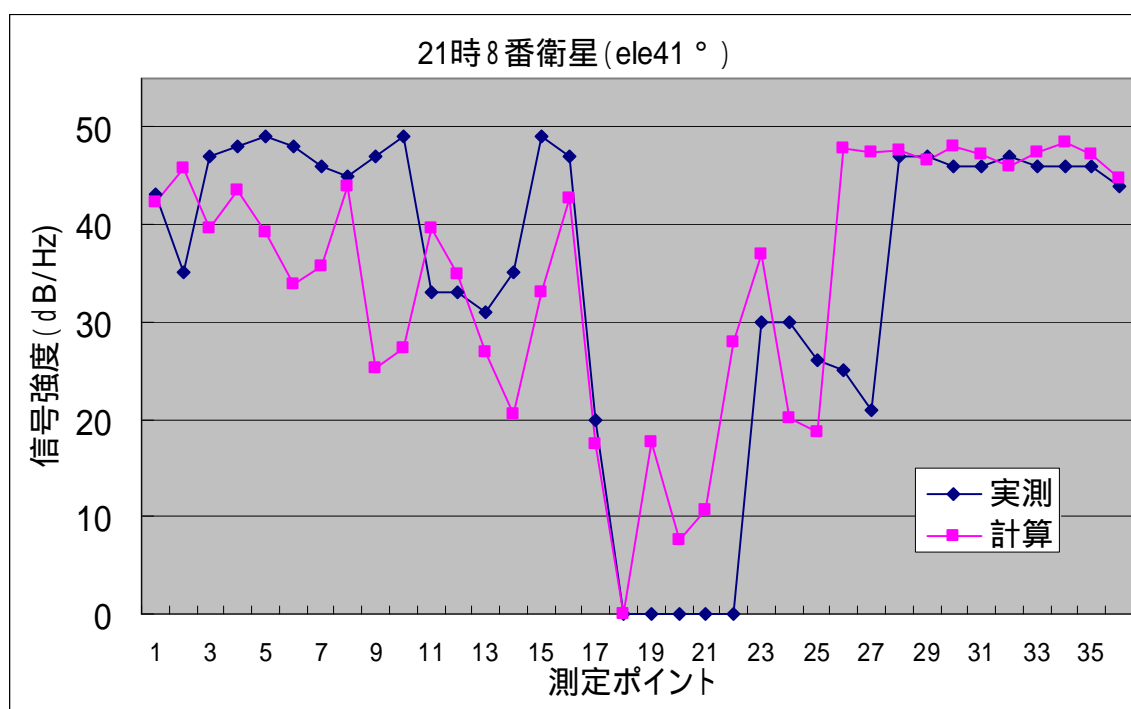


図 3-4-4・21 時 8 番衛星の信号強度変化

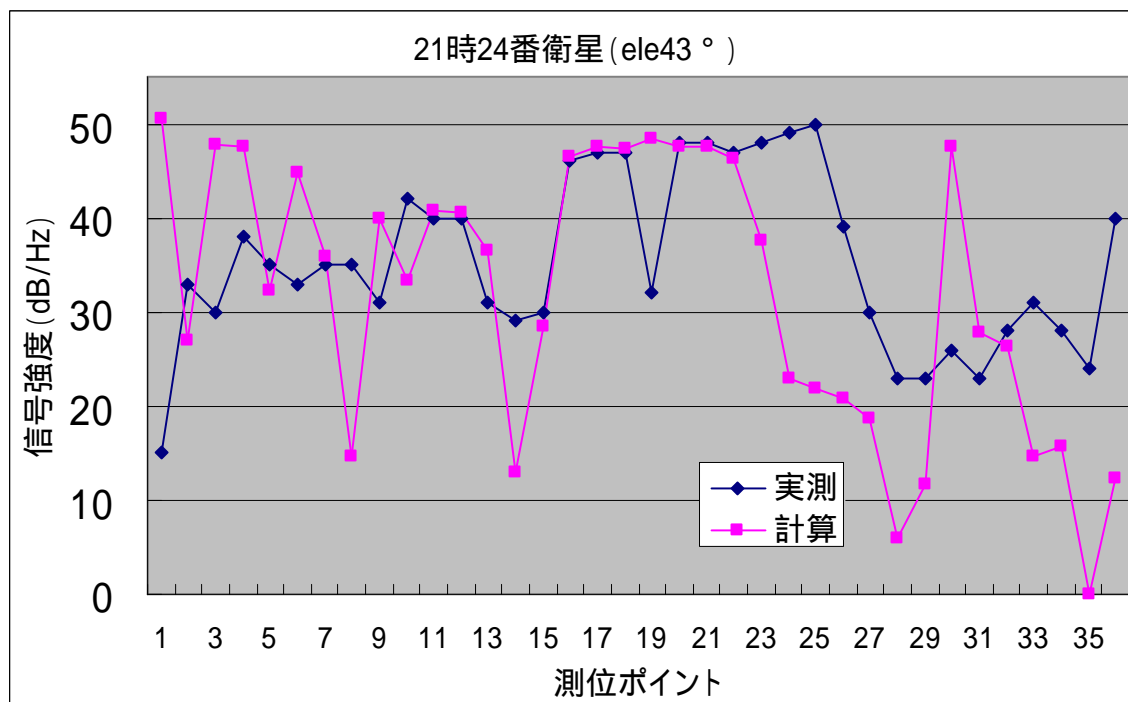


図 3-4-5・21 時 24 番衛星の信号強度変化

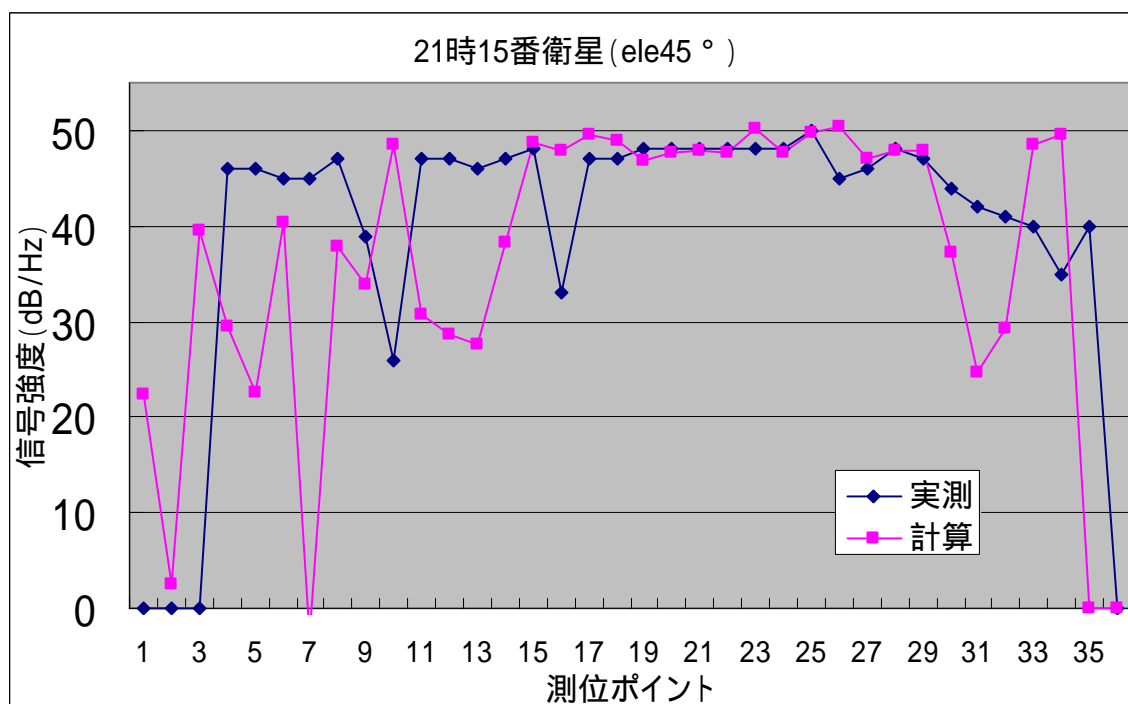


図 3-4-6・21 時 15 番衛星の信号強度変化

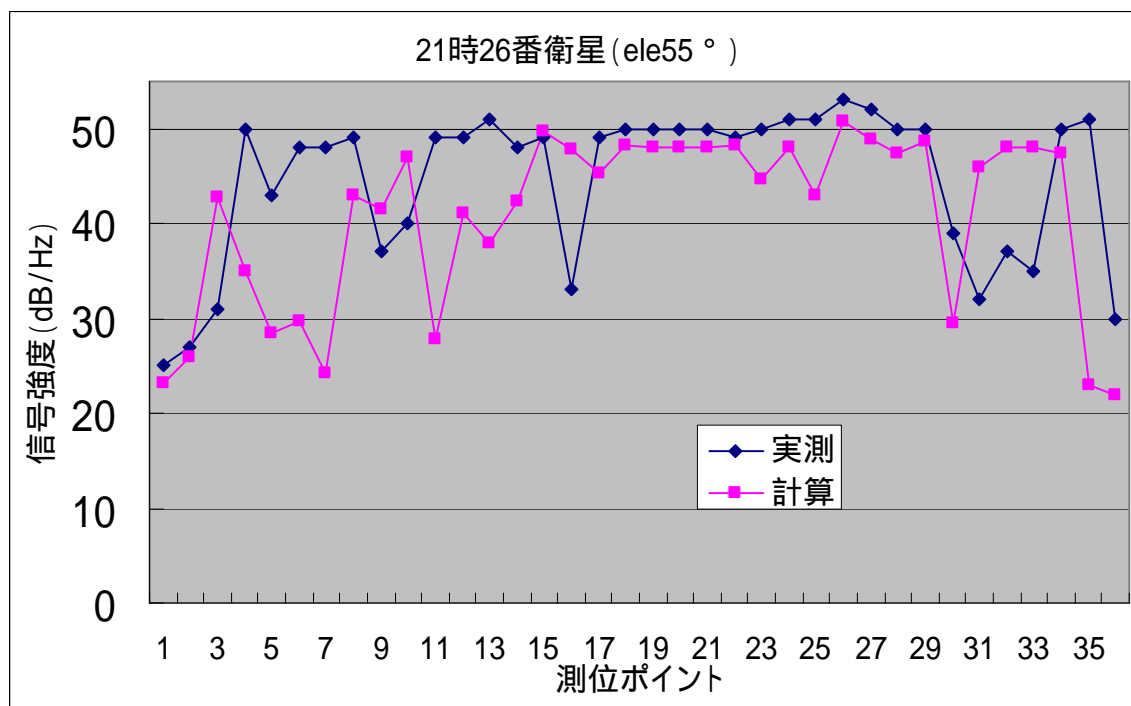


図 3-4-7・21 時 26 番衛星の信号強度変化

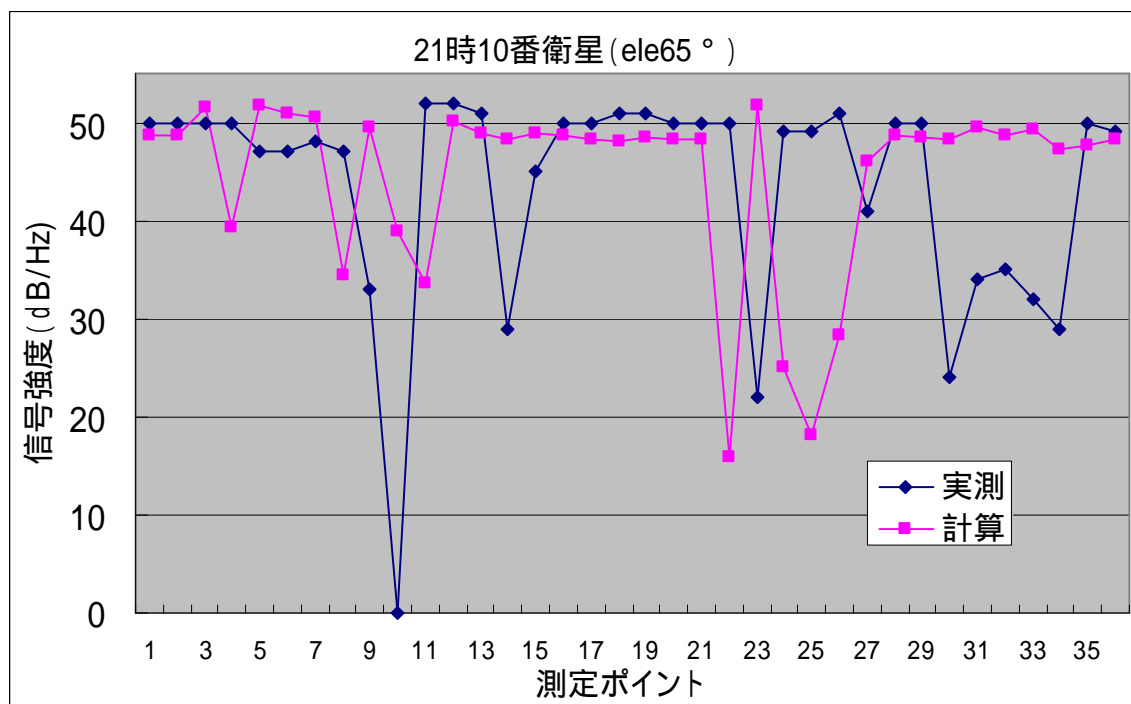


図 3-4-8・21 時 10 番衛星の信号強度変化

3-5 . ポイントごとの信号強度の差

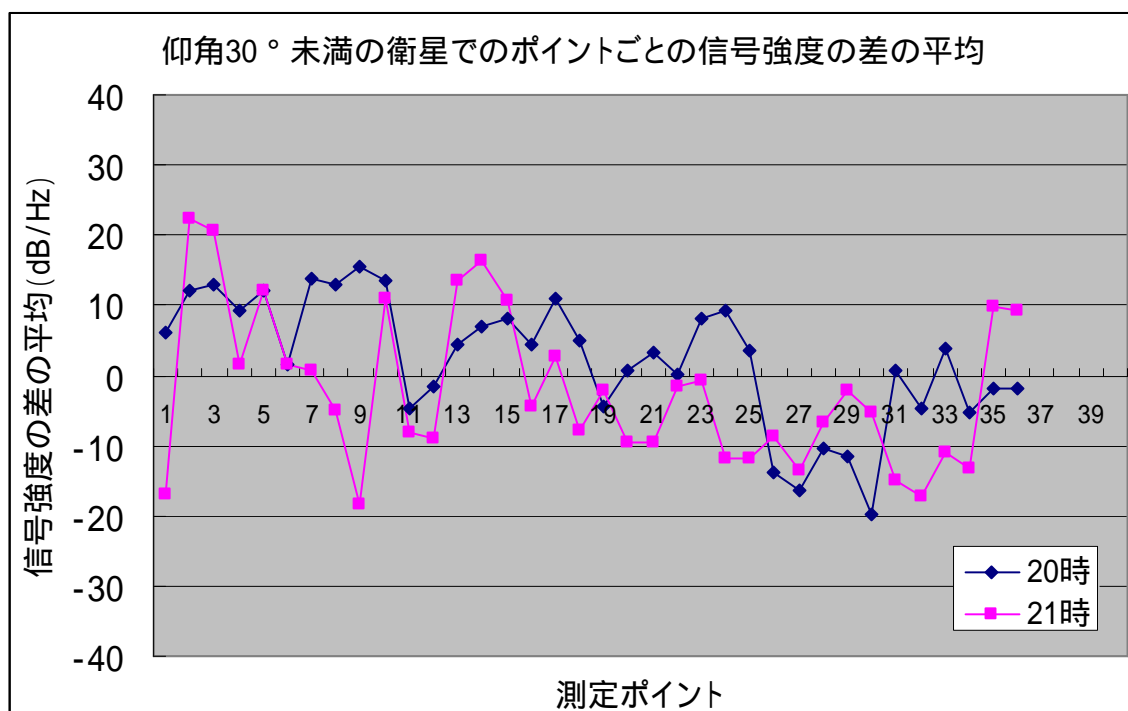


図 3-5-1・仰角 30° 未満の衛星での 36 箇所のポイントごとの信号強度差の平均

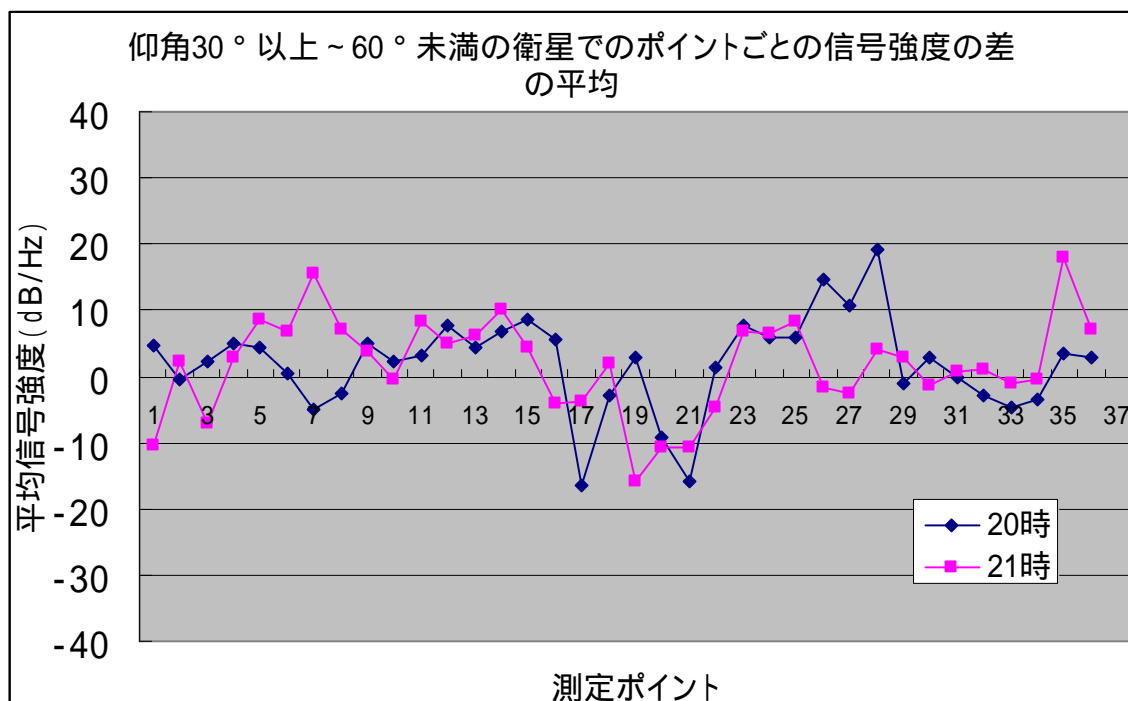


図 3-5-2・仰角 30° 以上～60° 未満の衛星での 36 箇所のポイントごとの信号強度差の平均

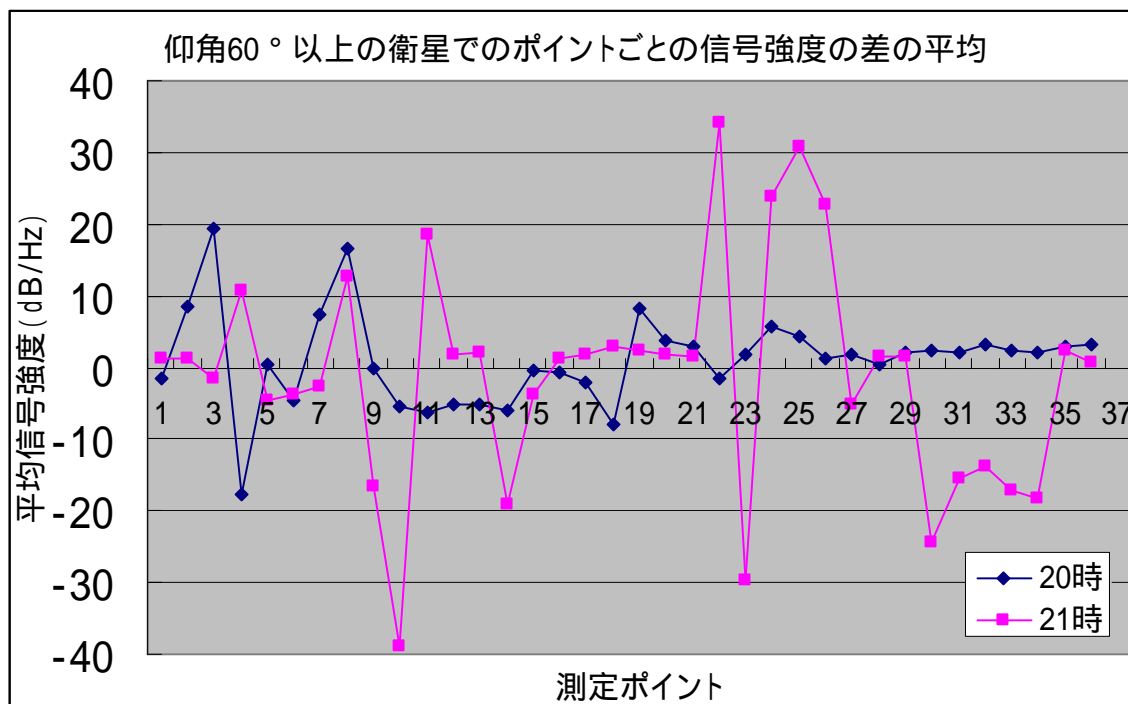


図 3-5-3・仰角 60° 以上の衛星での 36 箇所のポイントごとの信号強度差の平均

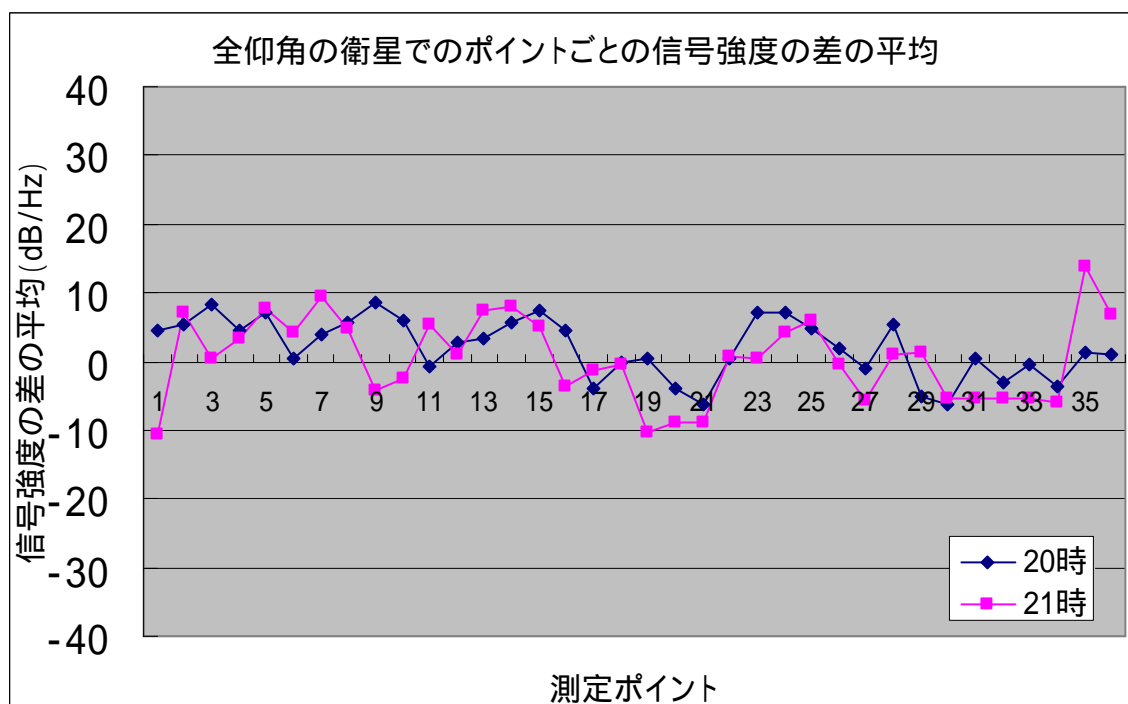


図 3-5-4・全仰角の衛星での 36 箇所のポイントごとの信号強度差の平均

3-5 の全てのデータは 36 箇所のポイントそれぞれでの信号強度の差の平均を求めたものである。平均値は、実測データの値から、解析データの値を引いたものとなっている。

3-6 . 解析結果と考察

実験結果の図は仰角が低いものから載せている。実測データと解析データの比較をおこない、ポイントごとに誤差はあるものの、実測データと近い傾向のある解析結果を得ることができた。ポイントごとの信号の差の平均のグラフを見ると、実測データと解析データでは、信号強度で、平均して $\pm 10\text{dB/Hz}$ 以内の誤差があることがわかる。また、比較データを見てみると、仰角の低い衛星の解析結果は、仰角の高い衛星に比べて、推定精度が悪いように見られる。仰角の低い衛星は、作成した 3D 地図の影響を受けやすいためこのような結果となったと考えられる。よって、作成する地図の精度を上げることでより精度の良いシミュレーションがおこなえうると考えられる。また、仰角の低い衛星は電離層や対流圏の影響を受けやすく、信号が弱くなっているため、そのような影響をどのようにシミュレーションに反映させるのかも課題となる。なお、図 3-5-3 では仰角が高いにも関わらず、精度が悪いように思われるが、仰角の高い衛星が、20 時 21 時共に 1 機しかいないため平均値を求められなかった結果と思われる。改善点としては、地図の範囲を広げることや、今回建物の素材を全てコンクリートとして作成しているため、素材にガラス・鉄などを使用した 3D 地図を作成することで、より良い結果が得られると考えられる。また、解析データでは 20 時、21 時共に GPS 衛星はその時間帯で止まっている。一方実測データはそれぞれ 19 : 45 ~ 20 : 15、20 : 45 ~ 21 : 15 の時間帯で GPS 衛星は絶えず移動している。このことから、シミュレーションで車両が移動する方向にポイントをずらしながら、例えば今回実測をおこなった 30 分間を 1 分ごとに解析するなど、ステップを細かくすることで、より実測データに近い値をだすことができると考えられる。なお、7 番衛星については信号強度が弱すぎたため解析をおこなえなかった。

第4章 測位シミュレーション実験

4-1．測位シミュレーションについて

測位シミュレーションとは、測位精度をおおまかにシミュレーションすることである。電波環境シミュレーション実験でおこなった実測データと解析データの比較で、近い傾向の結果を得ることができれば、そのデータを用いて将来的に測位シミュレーションをおこなうことができる。解析の精度が上がれば実際に計測しなくてもデータを得ることが可能となる。また、測位シミュレーションではある程度の傾向をつかむだけでも有益であるから、今回の解析結果程度の誤差があっても、データの傾向が似ているため、都市部での測位シミュレーションの元データとしては利用可能である。

今回、各時間・ポイントでの直接波受信数の割合、各ポイントの1日の平均信号強度について調査した。将来これらが元となって測位計算をおこなう。

4-2．各時間・ポイントでの直接波受信数の割合

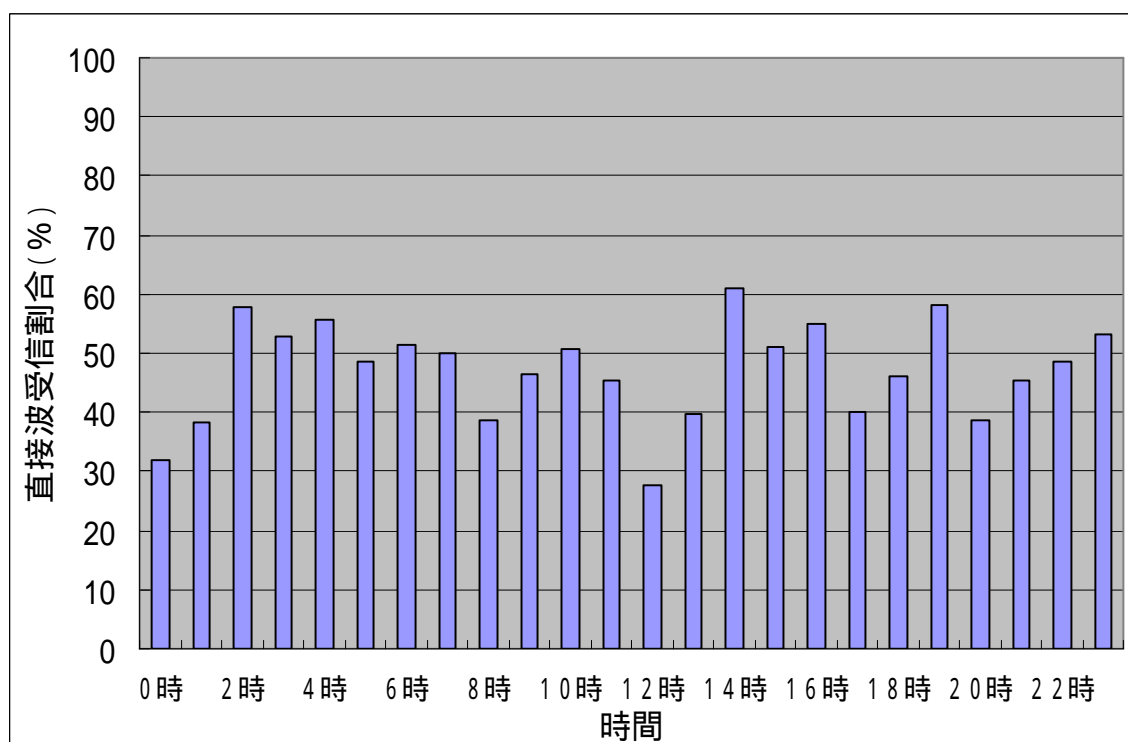


図 4-2-1・各時間での直接波受信数の割合

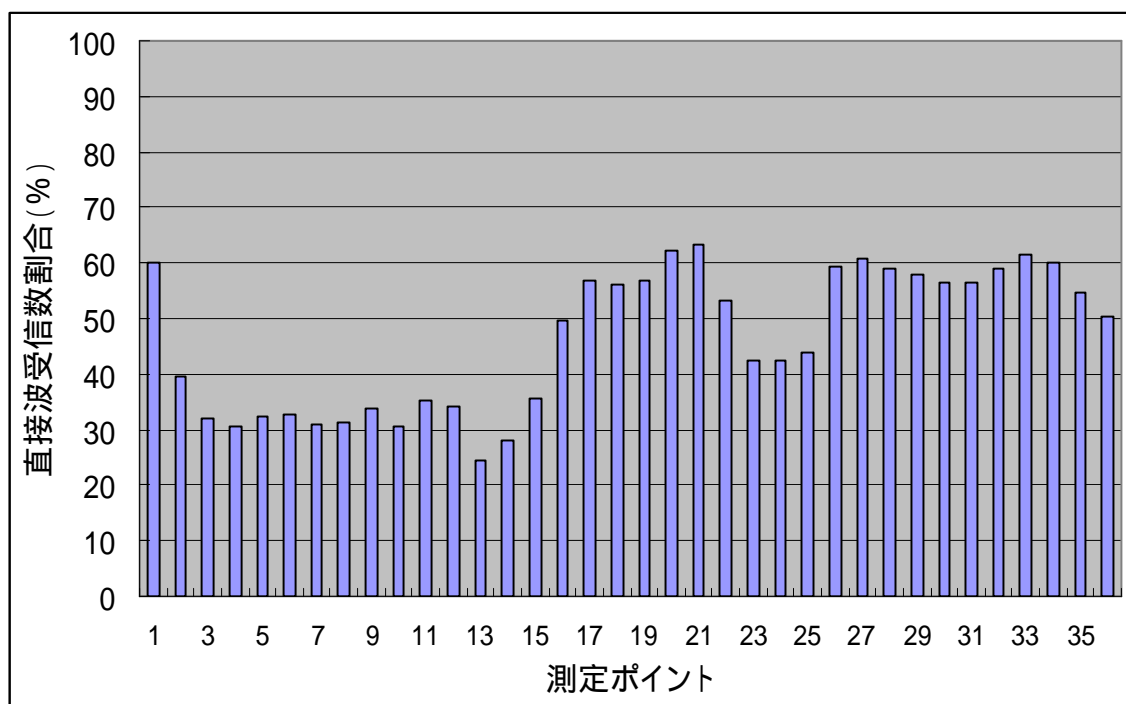


図 4-2-2・各ポイントでの直接波受信数の割合

図 4-2-1 は各時間での直接波受信数の割合、図 4-2-2 は各ポイントでの直接波受信数の割合を表している。各時間のグラフでは、各時間の直接波受信数の総数を、各時間の貸し衛星数に 36 をかけた値で割っている。各ポイントのグラフでは、36 箇所各ポイントの 1 日の直接波受信数を、1 日の総衛星数で割っている。開けた場所など、衛星からの送信電波が受けやすい場所では、直接波受信割合は 100% に近くなる。今回丸の内を想定した複雑な建物群でシミュレーションをおこなった結果としては妥当な結果である。

このシミュレーションの重要性は、実際に計測した場合、受信強度のデータを得ることはできるが、直接波とは回折、反射などをせず、衛星からの送信電波が直接受信機に受かった電波であるため、受信機側ではそれが直接波かそうではないかはわからない。つまりこのグラフは、シミュレーションをおこなうことで初めて得られるデータである。例えば、図 4-2-1 を考えたときに、計測をおこなう際、より良いデータを得ようとする場合、可視衛星数のグラフを見て可視衛星数の多い時間帯を選び計測をおこなったりするが、図 4-2-1 を用いて、直接波受信割合の高い時間帯を選び計測をおこなうことでも、より良いデータをえることができると考えられる。実際、可視衛星数の少ない時間帯であっても、直接波受信割合は高いといったような時刻も見られる。

4-3 . 各ポイントの 1 日の平均信号強度

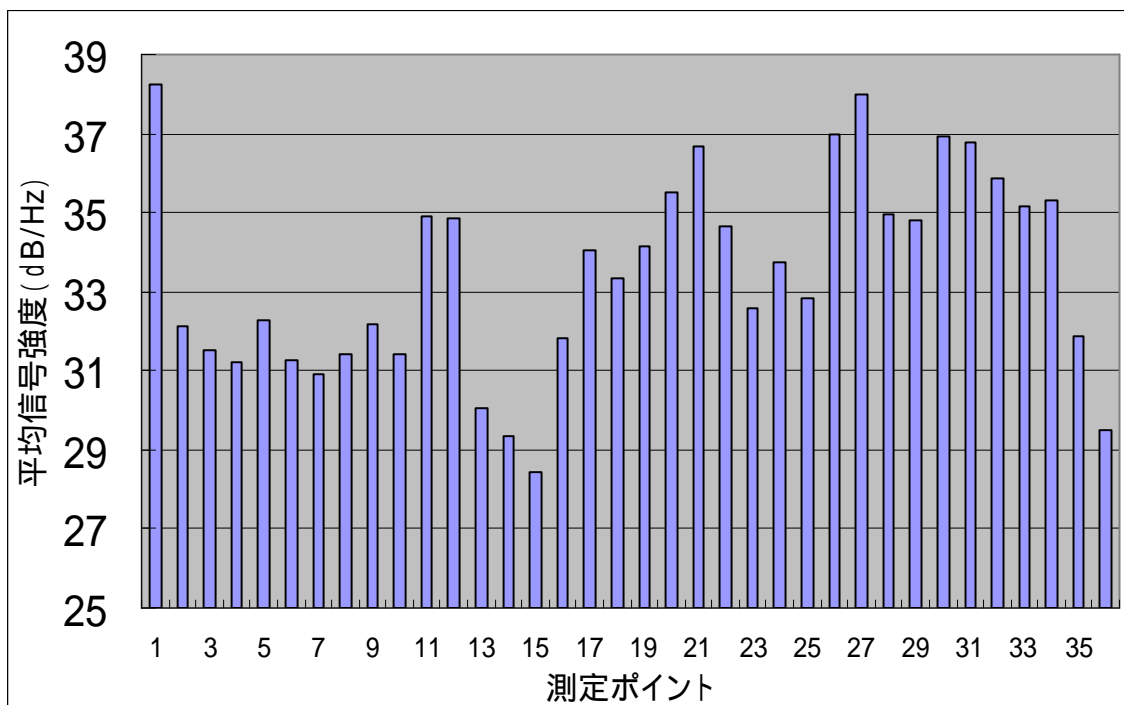


図 4-3-1・各ポイントの 1 日の平均信号強度

図 4-3-1 は 36 箇所各ポイントの 1 日の平均信号強度を表している。1 日分の各ポイントの信号強度のデータを総計して作成した。このグラフより測位ポイントごとの受信環境をみることができる。また、図 4-2-2 のグラフと酷似していることがわかる。

図 4-3-1 のデータを用いて受信強度が 35dB/Hz 以上なら青、35dB/Hz 未満～32dB/Hz 以上なら黄、32dB/Hz 未満なら赤となるよう色分けをおこなった。

表 4-3-2・各ポイントの平均受信強度による色分け

1	青	10	赤	19	黄	28	黄
2	黄	11	黄	20	青	29	黄
3	赤	12	黄	21	青	30	青
4	赤	13	赤	22	黄	31	青
5	黄	14	赤	23	黄	32	青
6	赤	15	赤	24	黄	33	青
7	赤	16	赤	25	黄	34	青
8	赤	17	黄	26	青	35	赤
9	黄	18	黄	27	青	36	赤



図 4-3-3・各ポイントの平均信号強度による色分けをおこなった丸ノ内周辺地図

図 4-3-3 は各ポイントの表 4-3-2 でおこなった平均信号強度の色分けを、実際に丸ノ内周辺の地図に載せたものである。この図から、今回の測位ポイントの電波受信環境を見て取れる。周りに建物の多い場所では信号は弱く、東京駅側の開けた場所では信号は強い、また、交差点でも比較的信号が強くなっていることがわかる。このような結果は、実際に丸ノ内周辺を計測しても似たような傾向が見られる。

第 5 章 総括

5-1 . まとめ

今回、都市部における GPS の電波環境を調査するため、電波環境シミュレーションをおこない、測位シミュレーションにつなげていくことを目的として実験を進めてきたが、都市部の電波環境をおおまかにシミュレーションするには、妥当な結果を得ることができた。信頼性のある情報を得られる測位シミュレーションをするには、まだまだ足りない部分が多いが、今回のおおまかなシミュレーションの結果を、今後の測位シミュレーションにつなげていくことができると考えている。また、図 4-2-1、図 4-2-2、図 4-3-1 など、おおまかではあるが、シミュレーションをおこなうことで得られる有用な情報も得ることができた。

5-2 . 今後の課題

今回の実験を、今後の測位シミュレーションにつなげていくと考えて、もっとも重要な課題であると思われたのが、正確で広範囲の 3D 地図の作成である。地図の精度を上げることで、実測データと解析データでほぼ誤差のない電波環境シミュレーションをおこなうことができ、より正確な測位シミュレーションをおこなえと考えられる。また、今回 1 時間ごとに解析をおこなったが、分単位など細かいステップでの解析をおこなえばより実測データと近い値のデータを得ることができると考えられる。しかし、RapLab より出力されるデータが、1 ステップごとに膨大な量であるため、情報データの処理方法も課題となってくる。また、正確な測位シミュレーションをおこなう場合、今回のように受信点が固定されているわけではない。時系列に合わせて 3D 地図内を移動する受信点が必要となる。

謝辞

本研究及び本論文作成にあたり、あらゆる面でご指導頂きました久保信明准教授に厚く御礼申し上げます。

また、本研究にあたり、様々な助言、ご指導を頂きました安田明生教授をはじめ、情報流通工学研究室の大学院生の方々にも心より感謝申し上げます。

参考文献

土屋 淳・辻 宏道 著 「新・GPS 測定の基礎」