第3章　無線インターネットアクセス

世界水泳会場でのインターネットアクセス手段として、無線ＬＡＮ（ＩＥＥＥ８０２．１１ｂ）を用いることとした．その主な目的は、ＱＧＰＯＰメンバーである平原や大森が加わるモバイルインターネットシステム（ＭＩＳ）開発グループによって開発中の技術を，より一般的な場面で実験することにある．

従来は，携帯電話やＰＨＳを用いて，移動しながらのインターネットアクセスを行っていたが，この方法では，１）速度が遅く，現在のブロードバンドインターネット利用に耐えられない，２）常時接続ではなく，また接続時間課金なため，コスト高となる，３）携帯電話からアクセスする方法（例：ｉ－Ｍｏｄｅ）は，ＩＰを使っていない，などの問題がある．一方，無線ＬＡＮを使えば，これらの問題を解決できるが，既存の仕様に基づく暗号化（ＷＥＰ）では，個人認証が行えず，パブリックな場所での利用に適さない．ＭＩＳは，これらの問題を解決し，モバイルＩＰを使うことで移動透過性を実現する，本当のモバイルインターネットを実現する技術として，無線ＬＡＮの上に実現されている．

ＭＩＳは，ルート株式会社（東京都文京区 代表取締役 真野 浩）は，財団法人九州システム情報技術研究所（研究員 平原 正樹），東京工業大学（情報理工学研究科 講師 太田 昌孝），京都大学（情報学研究科池田研究室 助手 藤川 賢治），株式会社トランス・ニュー・テクノロジー（東京都荒川区 代表取締役 伊倉 一孝）との共同研究グループにより開発され（http://www.root-hq.com/pressrelease/01.3.21.html），モバイルインターネット株式会社（東京都 代表取締役 真野 浩）によって，事業としての準備が進められている．

今回は，モバイルインターネット株式会社（ＭＩＳ）のＱＧＰＯＰへの協力が得られ（http://www.miserv.net/miserv/news/20010706_1.html），共同開発技術の実証実験を世界水泳の場を借りて，ＱＧＰＯＰが行うこととなった．

なお，既存の無線ＬＡＮカードとの比較を行うため，既存の無線ＬＡＮ基地局も，ＭＩＳ方式基地局と併設することとした．

3.1　ＭＩＳ方式

ＭＩＳ方式では，ＭＩＳ認証とモバイルＩＰを用いることによって，各移動体端末の認証と移動透過性を実現している．図 3.1 にその動作を示す．図 3.1 において，基地局はビーコンと呼ばれるパケットをブロードキャストで短い間隔で定期的に送信している．そして，移動体端末（モバイルホストと呼ばれる）は，そのビーコンから電波強度を計算し，最も電波の強い基地局を選択して，ＩＰアドレス割り当て要求をその基地局に対して送信する．このときＭＩＳ認証が行なわれ，ＭＩＳ認証サーバによってモバイルホストが認証されると，基地局がモバイルホストに対してＩＰアドレスを割り当て，この時点でモバイルホストはインターネットに接続可能となる．なお，ここで得られたＩＰアドレスは気付アドレスと呼ばれる．次に，モバ

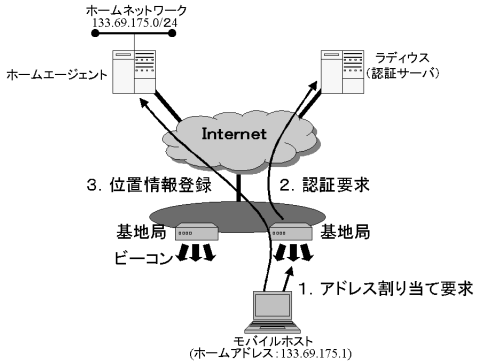

図 3.1: ＭＩＳ方式の動作概要

イルＩＰの処理が行なわれる．モバイルＩＰでは，モバイルホストの位置に関わらず常に同じ値を持つホームアドレスと呼ばれるＩＰアドレスを使って，モバイルホストは通信を行なう．これによって，モバイルホストが移動しても通信が途切れないという性質「移動透過性」が実現される．モバイルＩＰの最初の処理では，モバイルホストはモバイルＩＰ登録要求をホームエージェントと呼ばれるサーバに送信する．この要求には，気付アドレスとホームアドレスが含まれている．そして，ホームエージェントがこの２種類のＩＰアドレスを管理し，ホームアドレス宛のデータを気付アドレスを用いてモバイルホストに転送する．このようにして，モバイルホストが移動し，気付アドレスが変化しても，ホームアドレスを用ることによって，移動透過性が実現されている．

3.2　全体の構成

ＭＩＳ方式は，無線ＬＡＮの仕様に拡張を加えて個人認証が行えるようになっているため，ＭＩＳ認証サーバが必要である．また，モバイルＩＰを使用するため，ホームエージェントが必要である．フォーリンエージェントはモバイルホストにコロケートするため，必要ない．また，ホームネットワークは仮想的にしか存在せず，モバイルホストは常にホームネットワークから離脱して移動している状態である．

図 3.2 に全体の構成を示す．各基地局は，ＱＧＰＯＰが提供する各会場間ネットワークを介して相互に接続され，さらにＱＧＰＯＰバックボーンからインターネットへと接続する．

認証サーバおよびホームエージェントは，主会場のマリンメッセに配置する．認証サーバおよびホームエージェントは，ＭＩＳ方式の必須要素であるため，不慮のサーバダウンやマリンメッセのネットワークが切断された場合に備え，そのバックアップをＱＧＰＯＰのバックボーンに含まれているＩＳＩＴに置く．

各モバイルホストは，ルート社の８０２．１１ｂ無線ＬＡＮカードを装着したノートＰＣで，ＷＩＮＤＯＷＳ９８ＳＥかＷＩＮＤＯＷＳＭｅが動いている．ＭＩＳ専用のドライバがインストールされ，１）無線ネットワークに接続し，ＩＰアドレス（モバイルＩＰにおける気付アドレス）割り当てを受けるＭＩＳ認証に必要なユーザＩＤとパスワード，２）位置透過性を提供するモバイルＩＰのホームエージェントに接続するために必要なホームアドレスとパスワード，がそれぞれ設定されている．

3.3　基地局の位置情報

各基地局の位置情報は，その多くは，ＣＤＲＯＭ地図からの読み取りで行ったため，正確ではないが，実験に必要な精度は確保できた．基地局のほとんどが屋内に設置されていたためである．使用した地図は，プロアトラス２００１（全国ＤＶＤ版）で，会場によっては市街地から離れているため，精度の高い地図が収納されていなかった．測地系はＴＯＫＹＯに違いない．

幾つかの基地局では，視野が開けていたので，ＧＰＳを使用した．使用したＧＰＳはＤｅｌｏｒｍｅ社のＥａｒｔｈｍａｔｅ，これをＧＰＳＰｌａｙｅｒ３２というシェアウェアを使ってプロアトラス２００１に接続して，緯度経度表示の読み取りよ地図上での確認を行った．

地図ソフト上の緯度経度情報は度分秒（１０分の１秒単位まで），ＧＰＳＰｌａｙｅｒの表示も同様であるため，度形式で小数点以下６桁までに変換した．

3.4　ＭＩＳ認証サーバ

各モバイルホストのＭＩＳドライバは，新しい基地局を見つけた場合，あるいは移動しなくとも定期的に，無線基地局に対し，ＭＩＳ認証を繰り返す．その様子は，ＭＩＳ認証サーバ上のログを観察することで確認できる．現在，接続中のユーザ名とその基地局ＩＰアドレスが判り，また基地局の位置の緯度経度情報も登録されていて，これからユーザの位置情報を得ることもできる．

今回の実験では，この基本動作の確認を，まず行った．その際に，基地局情報（ＩＰアドレス）がＭＩＳ認証サーバに登録されていない

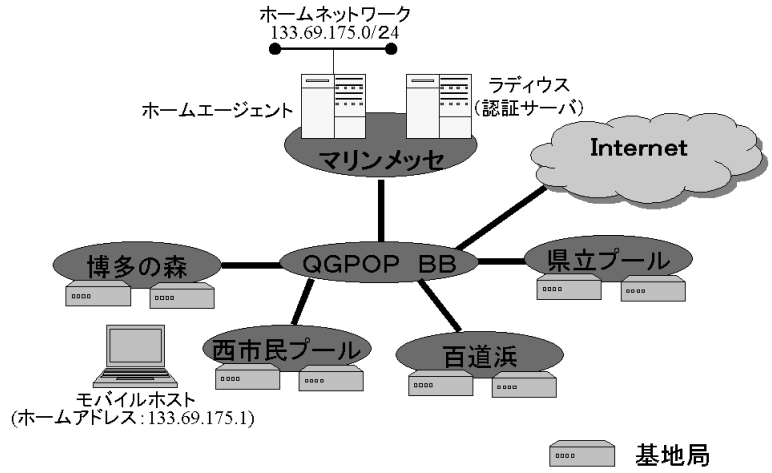

図 3.2: 全体構成図

場合，ＭＩＳ認証サーバは何も記録せずに認証要求を廃棄するため，不具合の検出に不親切であった．この問題は，大会中に改善し，新しいＭＩＳ認証サーバを導入した．

ＭＩＳ認証サーバには，同一ＭＩＳユーザＩＤを複数のモバイルホストに設定し，複数台同時に使用すると，それを検出し，そのユーザＩＤを使用不能にする機能が実装されている．机上のテストはできていたが，実際に物理的にかなり離れた（数Ｋｍ）場所での２重利用検出機能の実験は行っていなかった．世界水泳では，会場間が離れており，各会場の担当者の協力を得て，同一ＭＩＳユーザＩＤを意図的に複数のモバイルホストに設定し，この機能の正しい動作が確認できた．

この多重利用検出実験の際，ＭＩＳドライバは一旦（実際には連続して数度）認証が拒絶されると，パスワードなどを変更しない限り，再度の認証要求を出さなくなるため，多重利用が解消した後でも，接続が切れたままという状態が観測された．また，ＭＩＳ認証サーバ側の設定に誤りがあって，正しい設定にも関わらず認証要求を拒絶した場合も，ＭＩＳ認証サーバの設定が正しくなっても，ＭＩＳドライバ側は再度の認証要求を出さなくなり，接続が切れたままという状態が観測された．この問題は，実験期間終盤に確認されたため，実験期間中は改善できなかった．なお，暫定的には，ＭＩＳドライバをユーザがＯＮ／ＯＦＦすることで，あるいはＷＩＮＤＯＷＳを再起動することで，この状態から回復させた．

3.5　モバイルＩＰ

モバイルＩＰとは，ホストが異なるネットワーク間を移動しても，通信が途切れない移動透過性と呼ばれる性質を提供する技術である．モバイルＩＰは，ＩＥＴＦ（Internet Engineering Task Force）で提案され，その仕様はRFC2002で定義されている．モバイルＩＰでは，モバイルノードと呼ばれる移動体端末がネットワーク上の任意の地点においても同一のＩＰアドレスを用いて通信を行なうため，モバイルホストが移動しても通信が途切れない．

本実験では，ＲＦＣ２００２で定義されている仕様のサブセットを実装したものを用いた．本実装の特徴としては，以下の点があげられる．

- 仮想的なホームネットワーク
  ホームネットワークは，実在するネットワークではなく，ホームエージェント上の仮想的なネットワークとなっている．移動体端末（モバイルホスト）は，論理的にはこのホームネットワーク上に接続されているように見え，モバイルホスト宛のパケットはホームネットワークを通過してモバイ

ルホストに到達する．

- フォーリンエージェントの機能を含んだモバイルホスト
  モバイルホストは，カプセル化されたパケットから元のパケットを取り出すといったフォーリンエージェントの機能も持っている．

ここでは，このような特徴を持った今回の実験のモバイルＩＰの構成要素，動作，および，実験結果ついて述べる．

3.5.1 モバイルＩＰの構成要素

モバイルＩＰの構成要素としては，以下の２つがある．

- ホームエージェント（Home Agent）
  移動透過性を提供するサーバ．モバイルホスト宛のパケットを転送する機能を持っている．
- モバイルホスト（Mobile Host）
  移動体端末．ＲＦＣ２００２で定義されているフォーリンエージェント（Foreign Agent）の機能も備えている．

また，モバイルＩＰでは，移動透過性を提供するために，以下の２種類のＩＰアドレスを定義している．

- ホームアドレス（Home Addrress）
  モバイルホストがネットワーク上の任意の地点にいても変化しないアドレス．
- 気付アドレス（Core of Address）
  モバイルホストが接続するネットワークに応じて変化するアドレス．基地局が切り替わると気付アドレスも変化する．気付アドレスは，ＭＩＳ認証で認証されたモバイルホストに対し，基地局によってモバイルホストに割り当てられる．

3.5.2 モバイルＩＰの動作

モバイルＩＰの動作は大別して以下の２種類がある．

- モバイルＩＰ登録
- データ配送

ここでは，この２つの動作について述べる．

モバイルＩＰ登録

モバイルＩＰ登録は，モバイルホストのホームアドレス宛のパケットをモバイルホストに配送するために必要となる．このとき，ホームエージェントがモバイルホストの気付アドレスでパケットのカプセル化を行ない，ホームアドレス宛のパケットをモバイルホストへと転送するのであるが，そのためにはモバイルホストの気付アドレスとホームアドレスの対応をホームエージェントが知っておかなければならない．そこで，モバイルホストは気付アドレスを新しく取得した場合に，ホームエージェントに対して，気付アドレスとホームアドレスの対を含んだモバイルＩＰ登録要求を送信し，ホームエージェントに自身の気付アドレスを通知する（図. 3.3）．また，モバイルＩＰ登録要求やそれに対する応答が第三者から送信されたものでないことを確認するために，ホームエージェントとモバイルホストで共有鍵を持ち，それを使って互いに認証を行なう．モバイルＩＰ登録要求には，以下のようなものが含まれている．

- 気付アドレス
- ホームアドレス
- タイムスタンプ
  モバイルＩＰ登録要求が作成された時刻を表す．このタイムスタンプが古い場合には，その登録要求はホームエージェントに捨てられる．これは，モバイルＩＰ登録要求のパケットが第３者によって盗み見され，そのモバイルＩＰ登録要求のパケットが再送される攻撃を防ぐために有効な手段となっている．
- モバイルＩＰ登録要求の有効時間
  ホームエージェントがその登録要求の保持しておく時間．

- メッセージダイジェスト
  モバイルＩＰ登録要求の内容のメッセージダイジェスト．モバイルホストとホームエージェントは共有鍵を持っており，その共有鍵を用いて，このメッセージダイジェストが計算される．なお，一般にこの共有鍵はモバイルホストごとに異なる．

このモバイルＩＰ登録要求をホームエージェントが受け取ると，まず，その要求が正しいモバイルホストから送信されたものであるかを，ホームエージェントとモバイルホスト間の共有鍵を用いて検証する．この検証に成功すると，ホームエージェントは，モバイルＩＰ登録要求に対する応答を返す．そして，そのモバイルホストの気付アドレスとホームアドレスを保持し，それ以降モバイルホストのホームアドレス宛のパケットをモバイルホストに対して転送を行なう．なお，ホームエージェントは気付アドレスとホームアドレスの状態を有効時間で指定された時間だけしか保持しない．もし，この有効時間が長過ぎる場合には，ホームエージェントは有効時間を短く設定し，その有効時間を含んだ応答をモバイルホストに返す．

また，第三者にモバイルＩＰ登録要求を盗み見され，再送されると，ホームエージェントが正しい気付アドレスとホームアドレスの対を保持できないので，パケットをモバイルホストに正しく配送できない場合がある．そこで，ホームエージェントは，モバイルＩＰ登録要求内のタイムスタンプも保持しておき，タイムスタンプが古いモバイルＩＰ登録要求は再送されたものであるとしてそのモバイルＩＰ登録要求を廃棄する．

そして，ホームエージェントからモバイルＩＰ登録要求に対する応答を受け取ったモバイルホストは，その有効時間が切れる前に再度モバイルＩＰ登録要求を送信し，ホームエージェントで管理されている気付アドレスとホームアドレスの対が保持され続けるようにする．

モバイルＩＰにおけるデータ配送

モバイルＩＰでは，モバイルホストのホームアドレス宛のパケットはホームエージェントに

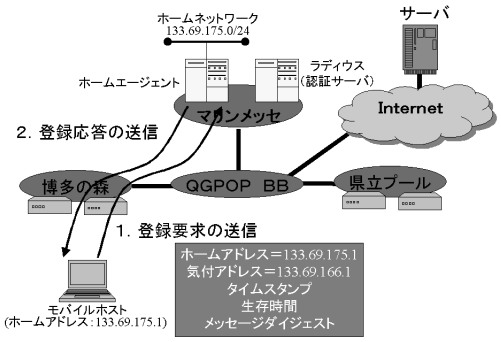

図 3.3: モバイルＩＰ登録

よってモバイルホストに転送され，モバイルホストからのパケットは送信元アドレスがホームアドレスに設定されて送出される．

まず，モバイルホストのホームアドレス宛のパケットの配送について述べる．ホームアドレスが含まれている仮想的なホームネットワークへの経路は，経路制御の設定によって，ホームエージェントへ向けられている．そのため，モバイルホストのホームアドレス宛のパケットは，ホームエージェントに到達する．そして，ホームエージェントは，先に述べたモバイルＩＰ登録によって得たホームアドレスと気付アドレスの情報に基づき，ホームアドレス宛のパケットを気付アドレスでカプセル化して送信する．このカプセル化されたパケットは，通常のインターネットの経路制御に従い，モバイルホストまで到達する．モバイルホストでは，カプセル化されたパケットから，元のパケットが取り出され，モバイルホストのOS内のＩＰプロトコルスタックに渡される．

一方，モバイルホストからのパケットは，モバイルＩＰ登録の場合を除き，通常は送信元アドレスがホームアドレスとなって送信されるだけである．

3.5.3 モバイルＩＰに関する実験結果と考察

ＷＩＮＤＯＷＳ端末のモバイルホストでは，ＴＣＰのファイル転送で約1.5Mbps程度の通信速度であった．通常，ＩＥＥＥ８０２．１１

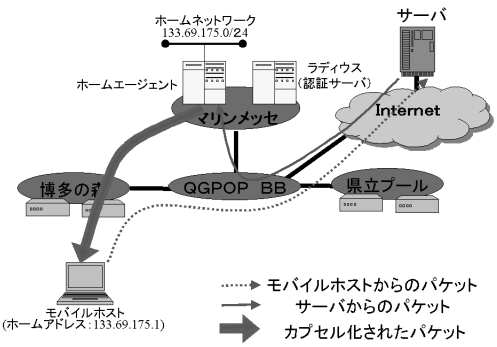

図 3.4: モバイルＩＰにおけるデータ配送

ｂでは最高で 6Mbps 程度の通信速度が得られため，この通信速度の低下の原因がホームエージェントのパケット転送能力にあるのかどうかを確かめるために異なる基地局に接続している複数のモバイルホストから同時にファイルを転送する実験を行なった．そして，各モバイルホストで 1.5Mbps 程度の速度が得られたことから，ホームエージェントのパケット転送能力には問題はなかったと結論づけた．このとことから，通信がＴＣＰであったこと，ＷＩＮＤＯＷＳドライバの処理速度，電波状況，および，１つの基地局につながっているモバイルホストの数などの要因で 1.5Mbps という通信速度になったと考えられる．この通信速度の問題を改善することはＭＩＳ方式の今後の課題といえるだろう．しかし，1.5Mbps 程度の通信速度であっても，既存の携帯電話やＰＨＳを利用したインターネットアクセスに比べると十分に高速であり，利用者も満足できる通信速度であったようである．なお，水泳大会終了後の実験では，最新版のＭＩＳのドライバを入れたＷＩＮＤＯＷＳでは，約 4Mbps 程度の通信速度が得られている．

また，モバイルホストは，先のＭＩＳ認証に成功し，気付アドレスを得ると，モバイルＩＰ登録要求をホームエージェントに送信する．この際，ホームアドレスやパスワードの設定が間違っていた場合には，ホームエージェントがその登録要求に対して登録に失敗したことを意味する応答を返すが，その応答に対してＷＩＮＤＯＳ端末が即座に反応して登録要求を再送するようになっていたため，ホームーエージェントとＷＩＮＤＯＳ端末間で登録要求とそれに対する応答が大量に流れるという状態があった．この状態が発生したのが大会期間中で，ＷＩＮＤＯＷＳ端末側のドライバは既にユーザに対して配布してあったため，端末側のドライバを更新してこの状態を回避することはできなかった．しかし，ホームエージェントで，このようなパスワードなどの設定が間違っているモバイルＩＰ登録要求に対しては，応答を返す頻度を下げるように変更を加えることによって多少改善された．今回のＷＩＮＤＯＷＳ端末のドライバでは，このようなパスワードが間違っていることがユーザに分かりにくかったため，ＷＩＮＤＯＷＳ端末が接続できない際の原因の追求をすることが困難であった．

3.6 電波の伝播および基地局の配置

3.6.1 電波の伝播および基地局の配置

３．５節において述べたように，モバイルホストの通信速度が低下したのは電波状況に原因があると考えられる．また，会場のいくつかでは，モバイルホストの位置により通信が不安定になったり，また同じ位置にあっても時間により通信が不安定になる問題が知られていた．これらの問題も電波状況に起因すると考えられる．

そこで本節においては，モバイルホストの通信状態とその周囲の電波状況の関連を明らかにすることを目的として，通信状態と電波測定の結果および基地局の配置について報告する．ここでいう通信状態とは，通信速度とその安定性のことである．

測定した会場について

今回測定したのは，マリンメッセ，福岡市立総合西市民プール，福岡県立総合プール，博多の森センターコートの５会場である．マリンメッセにおいては妨害電波の測定を行い，福岡市立総合西市民プールにおいては，妨害電波と

ＭＩＳが使用する電波強度を測定した．またその他の２会場では，妨害電波とＭＩＳの電波測定に加えて，基地局周辺でのモバイルホストの通信状況と電波状況を測定した．

妨害電波などの測定結果

今回の測定では，各会場において，ルート株式会社のＩＳMバンドモニタ「ＲＢＭ２４００」のスペアナ･モードを用いて，妨害電波の有無や，ＭＩＳが使用する電波強度について測定した．結果，妨害電波と言えるようなものは各会場で測定されず，ＭＩＳが使用するチャンネルにおける電波強度（-72dB 付近，ATT:ON，GAIN:Hi）に比べ，非常に弱い電波 (-100dB～-90dB，ATT:ON，GAIN:Hi) が観測されるだけであった．放送局用電波と帯域が衝突するおそれがあったマリンメッセにおいても，放送中である 2001 年 7 月 29 日の 6 時 10 分から 18 分にかけて測定したが，ときおり -80dB(ATT:ON，GAIN:Hi) 程度のスパイクが瞬間的に観測されるだけで，そのような電波は観測されなかった．また基地局とモバイルホストの間に遮蔽物などがあり，電波状況が悪い位置については，モバイルホストの受信する電波強度が下がる現象が当然のことながらも観測された．しかし，位置によらず，時間によって通信環境が変化する問題に関しては，スペアナ・モードやその他のモードを用いても観測することができなかった．これはバンドモニタが３０秒ごとに分析表示をするためで，その間の電波強度は最大値あるいは平均値しか表示できないためである．このために例えば通信環境が悪化した瞬間におけるモバイルホスト周辺の電波強度を測ることはできなかった．しかし 30 秒以上に渡って起きた通信環境の変化に関しては，通信速度が低下したときは電波強度も低下し，通信速度が向上したときは電波強度も高くなることが観測された．このことが必ず観測されるケースとしては，基地局の前に人が立った場合などモバイルホストが基地局に対して遮蔽された場合である．また例外ではあるが，モバイルホストと基地局間に遮蔽物がなく，また会場を移動するものがない場合においても，このような変化が起こることがたまに観測された．

3.6.2　通信状況と電波状況の測定

福岡県立総合市民プールと博多の森センターコートでは，会場の十数箇所において，モバイルホストでの通信状況の測定と，モバイルホストの電波状況の測定を行った．通信状況の測定では ping を用い，ＩＣＭＰエコーパケット２０個をホームエージェントに送ったとき，その応答パケットが何回返されたかを測った．このときパケットは１秒ごとに送出し，タイムアウトは２０秒とした．一方，電波状況の測定では，モバイルホストにあるＭＩＳドライバの機能を用いて，モバイルホストでの受信電波強度を測った．測定は ping による測定と同時に行われた．こうした理由は２つある．まず，ping の応答が返されているときは通信状況が良好であり，返されてないときは通信状況が悪化していることがすぐに観測できるからである．2 つ目の理由としては，ping の応答が帰ってこないときの受信電波強度を測定することにより，通信状況の悪化が電波によるものなのかそれともネットワークの障害によるものなのかを知ることができるからである．

福岡県立総合市民プール

福岡県立総合市民プールの通信状況を測定した結果を図 3.5 に示す．この測定は競技中に行われた．無線基地局は図中に白丸で表されている．また黒丸は測定位置であり，左が ping の応答パケットの数，右が受信電波強度の範囲である．受信電波強度の範囲に０～Ａ～Ｂと書かれていた場合は，受信電波が不安定なことを表しており，ときに電波が届かず受信電波が０になったことを表している．また範囲に０のみ書かれているならば，その場所では受信電波が測定している間，ずっと０であったことを表している．

観客席は１段５０ｃｍほどの高低差があり，一番下の観客席から一番上の観客席までの高低差がかなりあった．また無線基地局とそのアンテナは，放送局用の机や機材の下に置か

れており，人が歩く高さに設置されていた．また，この周辺にも放送用の机や機材が置かれていた．

測定結果より，会場内は一様な通信環境ではなかったことが分かる．無線基地局のプール側で通信状況が良いのは，そちらに向けてのみアンテナの見通しがよいからである．アンテナの背後は，後ろの客席が一段高くなっているため壁になっていた．またアンテナの左右には放送局用の机，機材が多少間隔をあけて置かれていた．よって前方のみが見通しのよい形となっていた．プール側で無線基地局に近い場所でも電波が全く届かない場所があるが，これはモバイルホストとアンテナが近い距離にあり，かつその間に遮蔽物があったためである．ＭＩＳが使用する電波は高周波であるから，光と同じく回折せずにまっすぐ進もうとする性質が非常に強い．よって無線基地局近くの通信環境が悪いのは，すべて遮蔽物が原因であると考えられる．遠くであれば，確かに電波が回折や反射を起こしてアンテナからモバイルホストに電波が届きやすくはなるが，測定結果から読み取れるように，電波の減衰のためにあまり良い通信環境ではないことが分かる．

博多の森センターコート

図 3.6 と図 3.7 に博多の森センターコートの測定結果を示す．この測定は競技時間外に行われた．　無線基地局は図中に白丸で表されている．添え字はその基地局のチャンネル数である．また黒丸は観測位置を表しており，それぞれに添えられているデータの意味は，初めの”CH”がモバイルホストが受信している基地局のチャンネル数を，真ん中の”p”が ping の応答パケットの数を，右の”e”が受信電波強度の範囲を表している．受信電波強度の範囲に０～Ａ～Ｂと書かれていた場合は，受信電波が不安定なことを表しており，ときに電波が届かず受信電波が０になったことを表している．また範囲に０とだけ書かれているならば，その場所では受信電波が測定している間，ずっと０であったことを表している．

まず図 3.6 について述べる．博多の森センターコート２階の観客席は，１段５０ｃｍほどの高低差があり，一番下の観客席から一番上の観客席までかなりの高低差があった．また中央のプールは客席の最下段より２ｍほどの高いステージに作られており，プールを挟んだ客席間に大きな遮蔽物がある状態であった．無線基地局とそのアンテナは客席最上段よりさらに１ｍほど高い場所に備えつけられており，会場全体を広く見渡せる場所にあった．よって図中の観客席にある観測点のほとんどにおいて良好な通信状況，電波状況であった．観測点のうち１点だけが例外があるが，これはプールがある中央のステージによって，無線基地局とモバイルホスト間が遮蔽されているからである．また，２階の階段付近についても測定したが，ここにもＭＩＳの電波が届いていた．そのうち１つの観測点には，２つの観測データが書かれているが，これは２つのチャンネルの電波を相互に受信し，２つの基地局と通信していたことを表している．チャンネルの切り替えは一度通信が切断されて，しばらく後にまた再接続されるといった具合にスムーズではなかったが，これは受信電波が弱かったこと，またハンドオーバーの実装のためであると考えられる．ここで受信したチャンネルの１つは図中のＣＨ１０であるが，もう１つのチャンネルＣＨ７は図 3.5，つまり１階に置かれている無線基地局のチャンネルである．階段では電波が測定できなかったことより，この周辺には２つの基地局の電波の反射と回折により，電波が複雑に分布していた分かる．

次に図 3.7 について述べる．この図は博多の森センターコート１階のプレスルーム付近を測定した結果を示している．データの読み方は図 3.5 と同様である．ＣＨ４の無線基地局が置かれている部屋がプレスルームである．この部屋でも２つのＣＨが測定されたが，これは廊下からプレスルームに入ったとき，以前の電波を引きずったことを表している．つまり廊下でＣＨ７接続しているモバイルホストがプレスルームに入ったとき，いっときＣＨ７で接続を続けた後，ＣＨ４に切り替わる．２つのデータがプレスルームの測定点に書かれているのは，部屋に入る前のＣＨ７の測定データと，ＣＨ４に切

り替わった後の測定データの２つがあったからである．逆にプレスルームから廊下に出ると，はじめＣＨ４であるがふたたびＣＨ７に切り替わるため，プレスルーム前の測定点にも２つのデータが書かれている．このような切り替えの遅延が起こるのは，図 3.5 でも述べたようにＭＩＳの実装と受信電波に原因があると考えられる．そのうち受信電波による原因としては，ＣＨ４とＣＨ７からの受信電波が変動して，その強度が入れ替わるような場所で測定したのが原因であると考えられる．

3.6.3　測定結果のまとめ

以上の測定により，モバイルホストの通信速度の低下は，会場内の複雑な電磁波分布によるものと考えられる．その複雑性は，建築物あるいはその中に置かれている物体によって，電波が回折，干渉などを起こすために生まれる．よって会場内では近くにあると思える無線基地局に接続できなかったり，遠くにある無線基地局に接続できたりする現象が起こる．

しかし今回の測定によれば，少数の無線基地局で快適な通信環境を用意するには，無線基地局からモバイルホストへの見通しを良くすることが有効であることが分かる．つまり高いところにアンテナを設置したり，周りの遮蔽物を除いたりすることが有効である．これはアンテナ設置の基本であるが，設置場所，時間ともに限られていた今回では仕方のないことと言える．

3.7　無線インターネットアクセス全般に関する結果と考察

今回，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバをＭＩＳ方式の基地局が存在しないマリンメッセに設置したが，本来，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバは各基地局からネットワーク的に近距離である位置に設置するのが望ましい．モバイルホスト宛のパケットがホームエージェントを経由するというようなことからも，このことは容易に理解であろう．今回のネットワーク構成では，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバをＱＧＰＯＰのバックボーンに設置するべきであった．マリンメッセにホームエージェントとＭＩＳ認証サーバ設置した理由は，マリンメッセが大会の主会場であるため，利用者が最も多く存在し，大半のパケットがマリンメッセを経由すると考えたからである．しかし，大会直前になって，急遽，マリンメッセには基地局が設置できない状況になり，ネットワーク構成を変更することが難しかったため，結果的にマリンメッセにホームエージェントとＭＩＳ認証サーバを設置するということになった．また，マリンメッセのネットワークに障害が生じることが頻繁にあり，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバへの到達性が失われ，各会場でＭＩＳ方式でインターネットに接続できないという状況があった．このことから，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバが存在するネットワークの耐障害性が非常に重要であることを痛感した．

一方，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバをマリンメッセ以外にもバックアップとしてＱＧＰＯＰバックボーン内のＩＳＩＴにそれぞれ一台ずつ設置した．バックアップのホームエージェントとＭＩＳ認証サーバには，マリンメッセのものと同一のＩＰアドレスを付加しておいた．これは，モバイルホストにはホームエージェントとＭＩＳ認証サーバのＩＰアドレスを設定しなければならないので，バックアップに切り替わってもモバイルホストの設定を変更しなくても済むようにするために行なった．そして，マリンメッセのネットワークへの到達性が失われた時に，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバへの経路をホスト経路として，ＱＧＰＯＰバックボーン内に広告することによって，マリンメッセのホームエージェントとＭＩＳ認証サーバ宛のパケットとがバックアップへ到達するようにできた．しかし，マリンメッセに設置したものとバックアップとで，モバイルホストの状態を共有していなかったため，バックアップに切替えた瞬間はモバイルホストのホームアドレス宛のパケットがモバイルホストへカプセル化して出せない状態になった．さらに，バックアップの設定ミスなどにより，正

しく動作しなかった状態も発生した．また，マリンメッセが復旧した際に，バックアップからマリンメッセのホームエージェントとＭＩＳ認証サーバへ切り替えるために，バックアップ用のホスト経路の広告を中止するようにしたが，正しく経路がマリンメッセの方へ向くのに，広告を中止してから，約3分かかった．これは，バックアップ用のホストルートの広告を，ＲＩＰ（Routing Information Protocol）で行なっており，ＲＩＰでは3分間経たなければ，経路が削除されないためであった．

ＷＩＮＤＯＷＳに関する問題として，ＭＩＳドライバが，ＭＩＳ認証も成功し，モバイルＩＰの登録も完了したことを報告しているにも関わらず，通信ができないことが頻繁にあった．これは，ＭＩＳを使う以前に，イーサネットで接続していて，そのＤＨＣＰで獲得したアドレスおよびデフォルトルートがＷＩＮＤＯＷＳ内に残っているためであった．ＷＩＮＤＯＷＳのコマンドで，イーサネットインターフェースからＤＨＣＰで獲得したアドレスを明示的に解放することで解決する．本体にイーサネットインタフェースビルトインの場合，この状態に陥りやすい．ＰＣＭＣＩＡイーサネットカードを用いている場合は，それを引き抜いて無線ＬＡＮカードを挿すため，この問題は起きないのである．

3.8　本実験のまとめ

今回は，モバイルホストとしてＷＩＮＤＯＷＳ端末を用いたが，その設定方法が複雑で利用者にとっては難しいものであったようである．しかし，一度設定すれば，基地局さえあれば任意の地点で設定を変更することなく高速なインターネットアクセスが可能であり，基地局が切り替わっても通信が途切れなかったため，利用者は快適なインターネットアクセスを体験できたと思われる．利用者の中には，通常の無線ＬＡＮを利用したことがない人もおり，特にそのような人は高速であったと感じたようである．

また，本実験では，利用者がそれほど多くなく，ホームエージェントとＭＩＳ認証サーバに高負荷がかかることがなかったため，ＭＩＳ方式の規模適応性という面での実用性は検証することができなかった．しかし，ＭＩＳ認証サーバの２重ログイン検出機能やホームエージェントのパケット転送処理能力は検証でき，十分に実用性があることがわかった．今後，ＭＩＳ方式が普及し，街角でも高速なインターネットアクセスができることを期待したい．