

空気圧センサーを利用した津波観測監視システムの構築

都司 嘉宜*, 加藤 健二*, 松本 晃治*
原田 智史*, 浅田鉄太郎*, 小山 盛雄*

1. はじめに

日本の気象庁による津波警報の発令体制は、世界でもっとも高密度のリアルタイムの地震観測網によって判断されている、信頼性の高いものである。ことに津波の発生に関して「見逃し」のエラーはほとんどなく、5%程度であるとされる(渡辺, 1985)。気象庁、管区気象台で「津波なし」の警報文が発せられて、実際には津波がきてしまう、という事態は事実上ほとんどない、といってよい。地震が起きてから、警報が実際に発せられるまでに要する時間は、自動化が進められて10分から15分程度にまで短縮した。

しかし、実際に沿岸の町村に住む人々にとっては、地震が起きてから警報が発せられるまでに費やされる時間は大変もどかしく感じられるものであって、気象庁、管区気象台の警報発令をまって避難活動などの対策がとられるのでは、住民の安全確保の上から、まにあわないのではないか、という危惧がつかぬにつまとう。なんとかして、町村など自治体が独自ですばやく判断材料を得たいという切なる要求があるのは当然である。津波警報が出たとき、最終的に町民(市民、村民)にたいして避難命令をだす権限、責任は町長(市長、村長)にある。町長は何を判断の材料にすればよいのであろうか。

津波警報が発せられたときも、海面の異常の監視に消防署員が港や海岸の見渡せる高台に出かけ、水位異常の監視の態勢がとられることが多い。しかしながら、夜間や濃霧のと

きなど遠方の水位異常を肉眼による目視で捕らえるのは困難である。

検潮所は津波をはじめとする水位の異常を測定記録する施設ではあるが、直接の記録は検潮小屋内の自記紙記録の上にペン書き線としてなされるので、常時実時間(時々刻々)に、町村役場、消防署など行政責任者の見ることでできる形でデータがとられているわけではない。津波来襲時に消防署員等が、鍵と無線機をもって検潮小屋に駆けつける、などという行動がとられない限り、検潮所はいまのところほとんど津波の来襲時監視の役にたっていないのである。

日本は長さ約2,000キロの列島弧上に、約130ヶ所の登録検潮所をもっており、水準点との結合、記録紙の取り替えと水位の読み取りなどで、一定の基準を満足している。このほか、港湾の維持、地盤沈下の監視、洪水の監視などの目的で設けられた水位観測点があり、これらを加えると、ともかく津波が測定しうる施設は日本列島全体では約400ヶ所程度にもおよんでいる。

日本は経済的にゆとりのある国であるから、これほどの数の検潮所が作られ、水位観測が維持されているのであるが、発展途上国のなかには、日本に劣らぬ津波常襲国でありながら、検潮所の配置密度のきわめて薄い国もある。検潮所の設立と維持管理、観測の継続には大きな費用を要し、経済が豊かでない国にとっては、検潮所が非常に高価なぜいたくな施設、ということになるのであろう。しかし、検潮所の設置密度が疎らであるために、津波記録から津波波源、あるいは、地震震源域の決定ができないのでは、多くの法則

*東京大学地震研究所

を確立すべき津波の発生事例をみすみす逃しているに等しいことになる。小さい津波では、どの検潮所にも記録が引っかけられないという事例も出て来るであろう。

「安価な津波観測システム」というものがあれば、このような事情がそうとう緩和されるであろう。日本における、津波監視のための測定装置も、検潮所1ヶ所を新たに設置するほどの大きな費用を要するものであれば、小さな自治体にとっておいそれとは装備できないものとなるであろう。やはり経済性は重要な要素のひとつなのである。

本研究では実時間津波監視の態勢を実現するために、気体圧力の測定用として開発されたストレインゲージ式圧力センサーを用いた津波測定装置を開発した。この装置は、垂直な岸壁面に、太さ（内径）10cm、長さ3mの真鍮製の管を取り付け、下端に直径10ミリの孔を2個開けて検潮管とし、なかに気体用の圧力センサーを取り付けて信号を漁協建物内のパソコンに送ってここでモニター表示し、さらにモデム、電話線を通じて、消防署、あるいは町村役場に設置したパソコンのディスプレイ装置（テレビ）にも水位変化を常時表示するものである。

学術的な論文の通例では、装置の各部品の製作価格、特殊なIC回路の入手方法、試作の段階で経験した失敗例、マニュアルの説明不足に起因するモデム送信開発中の障害、などは記することはしないものである。しかし本稿は、ここに開発した津波監視システムをできるだけ多くの沿岸に設置して実用に供したいという目的で記するのであるから、論文の通例に反する所しりはあっても、読者がこのシステムの製作を完全に再現することができるように失敗例、価格、入手方法などを明記して、実用的な説明文を綴ることにした。

研究技術開発上の「きれいごと」だけを述べて、多くの「きれいごとにあらざるごと」を秘して述べないなどというのでは、どだい後々真の役に立たないことが明白だからである。

2. 全体システム

空気圧センサーを利用した津波の観測監視システムの、全体配置を模式的に示せば、図-1のようになる。

垂直な岸壁に真鍮製の内径100mm、長さ3m、肉厚3mmの検潮管が上下2ヶ所のUボルトで固定されている。この検潮管は底面、上端とも蓋でとじられている。下端近くの側面には、直径10mmの円形の2個の孔が180°へだてて開けられており、海水を管内に引き入れる「導水孔」になっている。管内には、時間的に平均化された水面が実現する。

管の底面には、圧力センサー部（図中記号Ⅰ）が置かれている。圧力受感部は空気圧センサーであるが、その構造は後に詳しく述べる。管内の海水の高さは、この場所での水圧の形でこのセンサー部によって時々刻々測定される。

管の上端付近には「定電圧ドライブ回路」とよばれる電子回路が入っている（図中記号Ⅱ）。この回路によって、下の圧力センサーでの圧力変化が、電流変化信号に変換される。つまりこの回路は圧力（ p ）を電流値（ i ）に変換する $p-i$ 変換器（コンバーター）の役目をしているのである。

「定電圧ドライブ回路」からでた電流信号（ i ）は、2芯シールド線からなる信号線を通じて、漁協などの施設内に置かれた電流電圧変換部（ $i-V$ コンバーター、図中記号Ⅲ）に送られる。この部分の信号線のシールド（金属外装）は正しく地中（または海中）アースに短絡しておくことが望ましい。このシールド線のアースがいいかげんだと、付近で電動モーターなどが使用されるときなど大きな誘導電流を拾って出力が大きく乱されることがある。また夏など、空中架線の部分に落雷があったとき、信号線に多量の電流が流れ込んでセンサー、パソコンとも破壊することがある。

漁協などの建物の中に置かれた電流電圧変

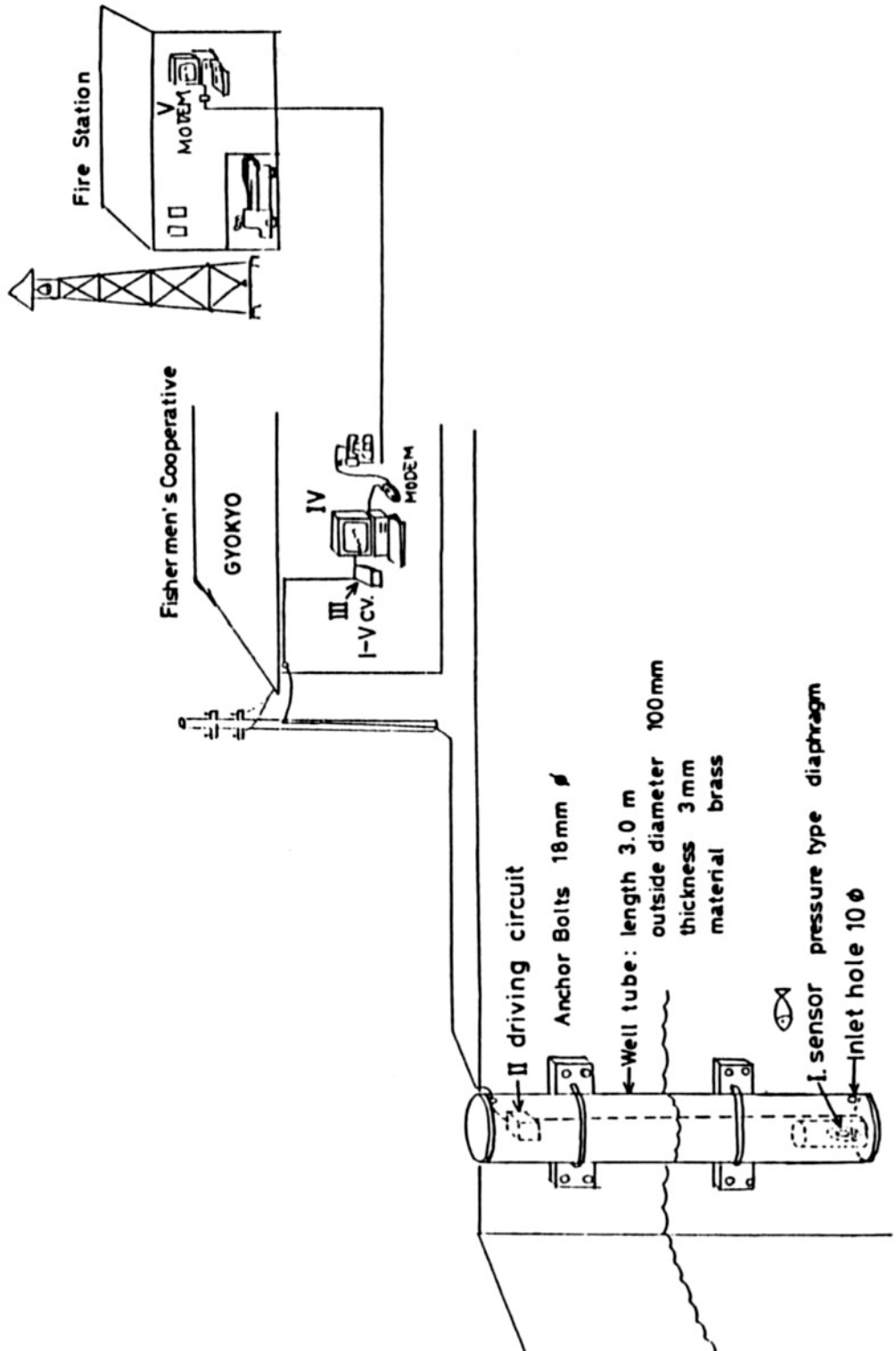


図-1 全体システム

換部(Ⅲ)は、Ⅱの定電圧ドライブ回路への電源供給部をも兼ねている。Ⅲの*i*-V変換器には、24ボルトの直流の定電圧が加えられる。漁協内では、電流電圧変換部、パソコンとディスプレイ装置(テレビ)、およびモデム装置が置かれるので、およそ70cm四方程度の机面を必要とする。

漁協のパソコンには、アナログ・デジタル変換ボード(ADコンバータ)がスロットに差し込まれている。電流電圧変換部で電圧(VまたはA、アナログの略)となった圧力情報信号は、このボードを通じてパソコンに取り込まれる。パソコンはBASIC文法に従って書かれたプログラムでデータを取りこまれ、10秒毎に代表値が決められ、ディスプレイ(テレビ)画面にグラフ表示される。このデータは毎日23時59分50秒のサンプリングがとられた後、つぎのサンプリングが入って来るまでに、ハードディスク装置に書き出される。ハードディスクの容量が40メガバイト(MB)あれば、およそ5年間のデータが収容できるはずであって、つまりそれだけの間データ記録媒体の交換が不要となる。プログラムではまた、10秒に一度、データの代表値が決められると、その値は消防署(町村役場)がわのパソコンに転送される。このデータの転送のさいには、いちど双方のパソコンに備えられたモデム装置によって電話回線用信号に変換される。

こうして、消防署(または町村役場)内で、検潮管で測定された時々刻々の水位が、パソコンのディスプレイ(テレビ)装置面にグラフとして表示されるのである。

以下には、各部分について詳細に述べてみよう。

3. 検潮管

3.1 検潮管の構成

検潮管は、内径100mm、長さ3.0m、肉厚3mmの真鍮管を用いた。真鍮は小型船舶のプロ

ペラとして用いられていることから分かるように、海水中に置いてもっとも長年月腐食に耐え、しかも錆、フジツボ、貝類等の生物が嫌う材質である。また、この管を上下で支持するU字ボルト、上下端に用いる蓋材、そのためのネジ、取り付け金具とも真鍮を用いれば、異種金属の接触による電気分極作用による金属腐食を受けない。真鍮は適度に柔らかく、研磨、加工が容易な材質である。なお、同じような加工の容易さから、全体をアルミニウムで製作することも考える。この場合には全ての金属工作が終わった後に、表面のアルマイト加工をかけることになる。アルミニウムは軽いため現場での作業が容易であるが、材質的に柔らかすぎること、小さな引っかききずのためにアルマイト加工が破れると、そこでの生物遺骸物質による金属腐食が早いこと、等のためにあまり推奨できない。

検潮管の長さは、測定したい水位範囲以上であることが望ましい。日本列島の太平洋側では大潮時の天文潮汐の最大振幅は1.5mの程度であるから、3mで十分である。しかし、有明海をはじめとする九州西海岸など天文潮汐の振幅の大きな地域では、もっと長い管を用いることが必要になってくる。長さ4mは3mより、わずかに1m長いだけであるが、輸送上で問題がでてくる。3mならば一般の運送業者は一般の宅配便の扱いで引き受けてくれるが、4mは「長尺物」とされて、それだけのためにトラックを配さなければならぬので気軽に頼むことができなくなる。4mの管を普通自動車にルーフキャリアを付けて運送するには、長さ制限超過のためいち警察に届出を要することもこころえておくべきである。

3.2 検潮管の岸壁面設置

検潮管は上下2点をU字ボルトで岸壁面に固定される。

その固定方法を詳しく言うと、長さ20cm、幅10cm、厚さ2cmの硬質アクリル板の4隅の



写真-1 真鍮製検潮管

少し内側にアンカーボルト用の各直径18mmの孔を開けておく。そして中央左右にU字ボルト用の孔(径11mm)を2個110mm間隔で開けておく。

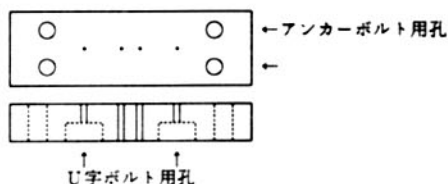


図-2 岸壁固定用アクリル板

U字ボルト用の孔の出る裏面は固定ナットが入る分だけ「くり抜き」がなされる(図-2)参照。U字ボルト用の孔の内側に、作業時に岸壁面に仮どめするコンクリート釘のための5mmほどの小孔を一对開けておく。

岸壁面はコンクリート製の垂直平面であることが望ましいが、少々傾斜があっても差し支えはない。18φのアンカーボルト8本と、コンクリート釘4本、Uボルト2本、それ用のナット4個、およびU字ボルトと検潮管の間に挟みこむ長さ約40cm、幅約3cm、厚さ3mmのゴム板2枚を用意する。

取り付け工事はなるべく大潮の干潮時の海の穏やかな日を選ぶ。取り付け点まで100ボルト電源を延長する。アンカーボルトの深さは7cm~10cm程度で十分であるが、岸壁内の鉄筋に当たらないことを確認しておく必要がある。足場は、海底が浅い場合には長尺の脚立梯子を利用し、海底の深い場合には小舟に足場を求めるのがよい。いずれにしるアンカーボルト孔の工事は危険を伴う作業であるので、できれば工事の専門業者に依頼するのが望ましい。

4. センサー部(図-1の1部)

4.1 圧力センサーの選択

いまの場合、圧力センサーは、測定範囲はせいぜい2気圧まで測定できるもので十分で

ある。しかし、精度は1cm、できれば0.1cm程度の相対精度(分解能)があることが望ましいので、フルスケールにたいして0.1%の精度のあるセンサーが必要である。また絶対圧力ではなく、大気圧が自動的に差し引かれた値が計測されるものであることが望ましい。温度による影響、長年の測定値のふらつき(ドリフト)、センサーが化学的耐久性に優れていること、などの条件が必要である。

これらのことを考慮して、われわれは、共和電業社製のPGM-05KG型圧力センサー(3mリード線付き価格、70,000円)を使用した。同社はストレインゲージの専門メーカーであるが、それを応用して、金属ダイヤフラム型の圧力センサーを多種製作している。金属ダイヤフラム型というのは、金属薄膜の両側の圧力差を、その金属膜の歪の大きさに測定するものである。歪は金属膜に取り付けられたストレインゲージのブリッジの電気抵抗の変化として検出される。このセンサーでは金属膜後面はビニールストローを通じてコネクタのところまでつなげられており、ここで大気に通じている。つまり、測定したい気体の圧力は大気圧との差の形で出力される。

同社の製品のうちには、液体圧測定用センサーも多種あって、おのおのカタログに載せられているが、どれも測定範囲が広く、絶対精度が悪くて、われわれの目的に適するものはなかった。それで、気体圧測定用ではあったがPGM-05KG型を使用した。カタログ上の性能表によると、この製品の測定レンジは大気圧を差し引いて、0気圧から0.5気圧(5m水深)まで測定できる。分解能精度はフルスケールにたいして0.1%を保証しており、出力の直線性も誤差0.5%以下としており、ほぼわれわれの目的を満足するものである。出力の温度影響は0.03%でほぼ問題にならない。

なお、この目的に水晶センサー、あるいはセラミックス(陶器質)の圧電(ピエゾ)センサーを応用することも一考に値する。水晶

は温度による影響を受け易いが、ハード的、あるいはソフト的に温度保証がなされていれば実用になしうるであろう。

4.2 センサー部製作上のさまざまな失敗例

本研究で用いることにした共和電業社製のPGM-05KG型圧力センサーは、元来が気体の圧力を計測するセンサーであって、海水のような液体の圧力を測定するものではない。このため、センサーが海水に触れた瞬間、このセンサーは壊れてしまうことが確認された。それで、センサーは直接には「閉じこめた」空気圧を測定することとし、海水と空気とをなんらかの方法で圧力を伝えさせながら遮断する構造を考案した。

まず最初、ゴム製の「風船」を用いることを考えた。医療用の水嚢として用いられるゴム袋にいくばくかの空気とともにセンサーを閉じ込めて密封し、その外をさらにアクリル製の円筒容器にくるんで検潮管内の海水中に置いた。この装置による野外観測実験は、岩手県三陸町綾里の小路漁港で1991年7月から開始した。当初1, 2週間はこの方法により潮位の良好なデータが採取できた。しかしこの方法では、密封された空気が半透性のゴム膜を通じて海水側に抜け出し、2, 3カ月後には完全に空気が抜けて測定が不可能となった。それにゴム膜が部分的に凸面から凹面に変化する時、出力に見かけ上のジャンプを生ずることが判明した。さらに、ゴムは海水中で、化学変化して破れやすくなることがわかり、長期間の観測に耐え得ないことが判明した。

以上の経験から海水と空気とを人工的な膜で隔てるのはいろいろと具合の悪いことがあって、得策でないことが知られた。そこで、コップ型の真鍮製容器を上下逆さに置き、中に空気を閉じ込めて、その空気圧を測定することにした。コップの下方に海水が直接顔をのぞかせるのは、コップの内部の空気

に塩分がたちこめてセンサーの寿命を縮めることが予想されるので、「水より重い油」をコップより直径の大きな円筒容器に満たし、そのなかに圧力センサーを取り付けた真鍮製のコップを逆さに置くことにした。問題は「水より重い油」として何を使うかである。海水中での化学的な安定性を考慮すると、食用油などの動植物油は使えないので、シリコン油を使うことを考えた。信越化学社はシリコン油の大手メーカーであるが、そのカタログで比重が1より大きいのはわずか3種類しかない。そのうち最も汎用的なものは、KF54番のシリコン油（1リッター価格9,600円）である。

外容器をアクリルで製作し、なかにシリコン油を満たしたセンサー部は、1991年11月に試作され、神奈川県三浦市油壺にある東京大学地震研究所付属の地殻変動観測所の海岸で1週間の性能テストを経て、12月初旬、岩手県田老町、および三陸町綾里に設置され、のち12月下旬に宮城県女川町江ノ島にある東京大学地震研究所の津波観測所にも設置された。

このセンサーも当初順調に記録をとっていたが、1月半ほど記録をとるうち、個々の小波動が、じっさいに目視される検潮管の位置での水位変化と対応しないことが田老町で見いだされた。センサー部を管から引き上げてみると、内部に満たされたシリコン油は寒冷地での低い環境温度のために粘性が強く効く半ゲル状となっていた。つまり、寒い季節にはシリコン油の強い粘性のために、海水からの水圧がストレートには封じ込まれた空気には伝わっていなかったのである。信越化学のシリコン油の物理特性に関する資料をみても、シリコン油は温度とともに粘性が急変することが知られる。

以上の失敗例を経験して、「水より重い油」として四塩化炭素(CCl₄)を用いる、という1992年2月時点での最良センサー部の製作案に到達したのである。

4.3 四塩化炭素を用いたセンサー部

四塩化炭素は有機物でありながら不燃性の化学物質で、他の有機溶媒（つまり油）と同じく水とは混じらない。比重は1.59で海水より重い。水との境界面での境界面張力はシリコン油のそれより小さく、シリコン油のように水のなかで球形の塊を作るような性質はほとんど見られない。冷蔵庫内に2、3日保存しても、粘性が増加してゲル化することはなかった。

四塩化炭素は、いまのわれわれの目的にはかなう以上のような性質があるが、欠点もある。

まず第一に四塩化炭素は化学的活性度の強い物質であるため、アクリルとその有機接着剤などの合成樹脂物質を溶かしてしまう性質があることである。このことを確かめるため、われわれは実験室内で円筒形のアクリル容器を四塩化炭素で満たしたコップのなかに置いて、2、3週間放置した。その結果、アクリルの容器に無数のひび割れを生じた。つまり、四塩化炭素を用いている限り、容器製作上加工しやすく、かつ透明で内部のようすを観察しやすいアクリル等の合成樹脂の容器は使えないことになった。そこでガラス容器を外容器とし、真鍮性の倒立コップを用いた図-3のようなセンサー部を製作した。これが1992年2月現在のもっとも改良の進んだセンサー部のタイプとなっている。

センサー部は検潮管の底面に設置されるが、時々引き上げる必要が生じることから、「力綱」としてステンレス鎖が取り付けられており、その上端は上蓋につながっている。このタイプのセンサーは1992年2月初旬に製作され、4日間油壺観測所でテストが行われ、結果が良好であることが確かめられた後、2月中旬に岩手県田老町漁港、および宮城江ノ島の津波観測所に設置された。その後、田老町でキャリブレーションなど行われたが異常はみいだされなかった。1992年4月中旬現在まで、順調に作動を続けている。

4.4 センサーの較正（キャリブレーション）

神奈川県三浦市油壺の東京大学地震研究所地殻変動観測所の海岸でシリコン油と四塩化炭素のセンサーのテストが行われている。その場所は地殻変動観測トンネル出口のすぐ前の海岸であるが、国土地理院の日本最古の検潮所のわずか400mほど東に当たる。シリコン油によるテスト期間にえられた記録を、地理院の記録と比較すると、図-4のようになる。両者は細部にいたるまできわめてよい一致を示しており、この方式の水位観測が十分信頼するに足るものであることを示している。

5. 定電圧ドライブ回路（Ⅱ部）、および電流電圧変換部（Ⅲ部）

近年各種のセンサー専用ICが開発され、一般に販売され始めた。

そのなかで「AD693型」とよばれるセンサーは、とくに圧力センサーを構成するストレインゲージブリッジの出力をコントロールするためのセンサーである。その圧力センサー用の回路構成は、メカトロ・センサ活用ハンドブック（CQ出版社）に詳しい説明とともに掲載されているものを引用する（図-5）。

この回路の特徴は、圧力の変化が、電圧Vではなく電流*i*の変化としてでてくることである。このため、定電圧ドライブ回路（Ⅱ部、以下こう呼ぶ）と電流電圧変換部（Ⅲ部）とが位置的にどれほどはなれていても、出力に影響が出ないという利点があることになる。全体構成図（図-1）を見れば分かるように、Ⅱ部は検潮管の内部に置かれ、Ⅲ部は漁協の建物の内部に置かれる。この両者は距離が100m程度となるのは通例であるし、ときには200mかそれ以上離れていることもある。これが、電圧信号出力型だと、Ⅱ部に相当する部分の直後で定格の電圧信号が出力されていても、長いシールド線内を走るう

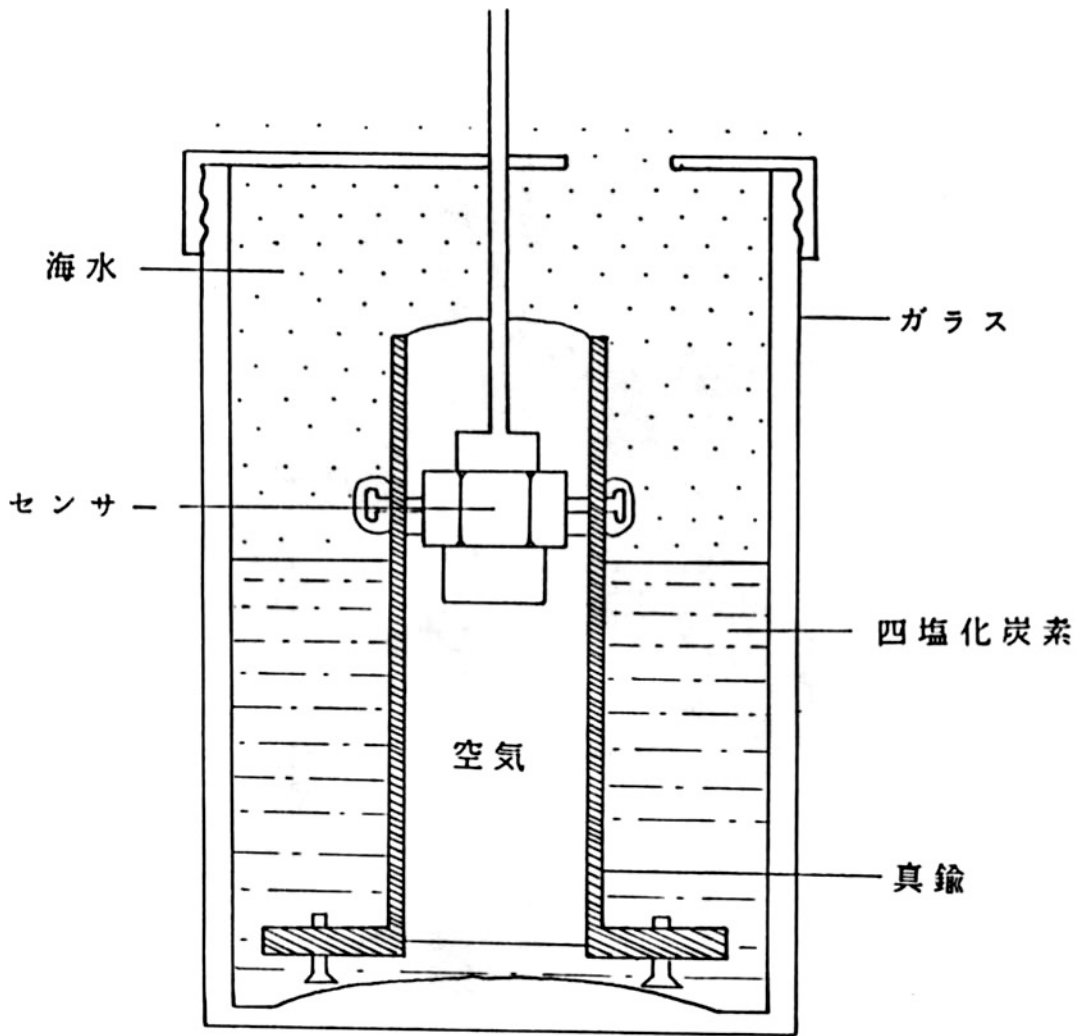
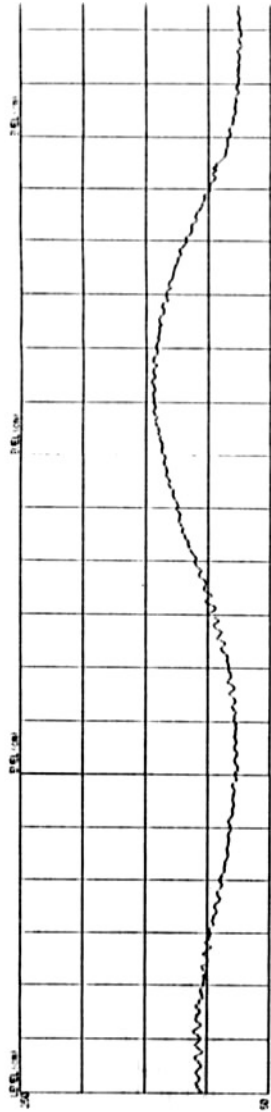


図-3 センサー部分



写真-2 センサーの設置

われわれのセンサー



国土地理院油壺検潮所記録

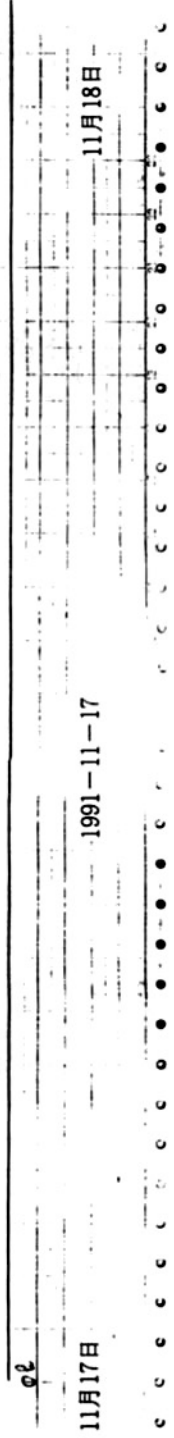


図-4 われわれのセンサー（上）と国土地理院油壺検潮所記録（下）

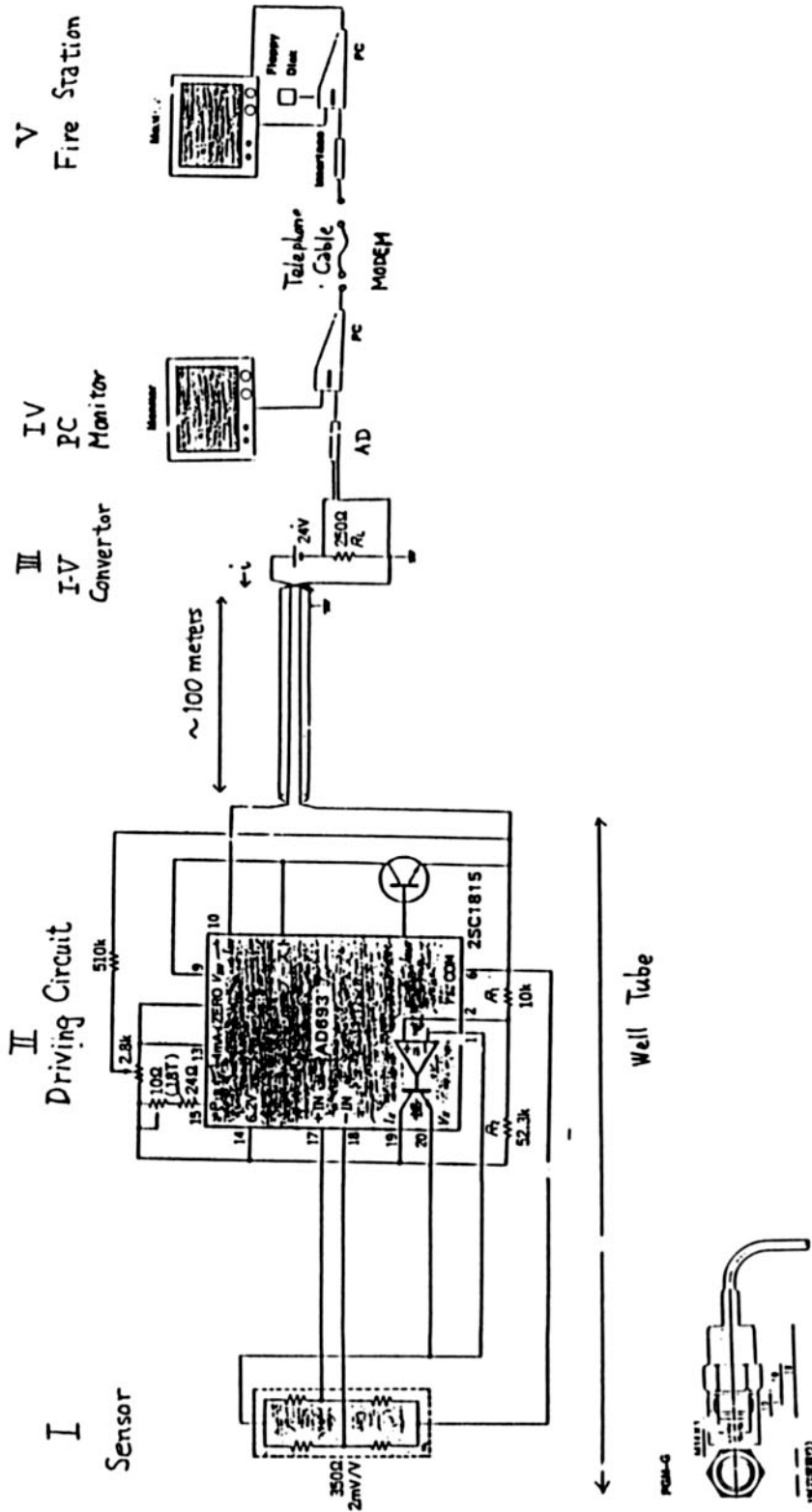


図-5 センサーと電子回路ブロック図

ち、その線の電気抵抗のために、漁協のパソコンに達するところでは大幅に信号が低下することがありうるが電流信号出力型だと信号線の長さの影響を全くうけない。もうひとつ有利な点は、電圧出力型回路であれば、供給する電力と取り出す信号のために少なくとも4本の独立した信号線が必要であるのに、この定電圧ドライブ回路では、別に電源線は必要とはせず、ただ2本の電流線のみで用が足りることである。

AD693型のICは、東京なら秋葉原の代表的なICパーツ店（たとえば若松通商とか亜士電子工業、秋月電商など）に注文すれば数日後に取り寄せられるが、東京ラジオセンターのビルの中の、1階西側入口から通路右側3軒目の「キュードー」（店名カタカナ書き）に限って、現金払いで現物がすぐその場で入手することができる。価格は1991年末に1個3,500円であった。

Ⅲ部の電流電力変換部とは、要するに定抵抗1本に過ぎない。オームの法則に従い、電流と抵抗値の積に相当する電圧信号を抵抗の両端に取り出すことができる。この抵抗は当然精度の高い抵抗であるべきで、少なくとも1%精度保証のものであるべきである。必ずしも抵抗値の絶対精度を要求するわけではないが、温度、経過時間などによる抵抗値の浮動（ふらつき、ドリフト）を嫌うからである。

ここで非常に重要なことは、図にあるとおりこの定抵抗の電源側でない1端を必ず正しいアースに接続することである。さもないと、出力にはつねにランダムな小振動がのり、また誘導によるふらつきの影響を受ける。

Ⅲ部には24ボルトの直流電源が置かれる。この電源は100Vの交流電源から減圧トランス、ダイオードブリッジ、ケミカルコンデンサ2個、3端子レギュレーター1対を用いた整流回路で十分信頼性の高い直流電源を得ることができる（電源の製作価格は約2,000円程度）。三端子レギュレーターはプラス側とマイナス側で脚の機能が非対称であるから、

半田による接続作業のさいには注意を要する。

Ⅲの部分の電源供給の部分は大きな電流が流れるので、他の部分にノイズを及ぼし易く、その全体を金属箱の中に閉じ込めるのがよい。ことに定抵抗とは別個の金属箱の中に納めるべきである。

6. シールド線と耐雷装置

検潮管内の定電圧ドライブ回路（Ⅱ部）と漁協内の電流電圧変換部（Ⅲ部）との間は2芯のシールド線で結ばれる。その長さはときに200mかそれ以上になる。この間ではできるならば、なるべく空中架線とはせず、地中線とするほうが望ましい。雷の直撃をさけるためである。またシールドを正しいアースに接続するだけでも雷に一定の効果があるが、落雷時に大量の電気を短絡して逃がすダイオードを内蔵した耐雷装置を途中に挟み込んで置くのがよい。ここで「雷の直撃」といったが、可能性としては、文字どおりの雷がこの空中架線部に落ちる場合より、近くに落雷して誘導雷が発生する場合のほうが多い。いずれの場合も落雷によって観測は中断してもパソコン、AD変換ボード、センサーなど比較的高価な部品は保護される。

7. データ処理パソコン

本研究では、日本でパソコン界の大勢を制した日本電気のPC9801シリーズのVM型と、その互換機であるエプソン社のPC286STDを使った。いずれも高価な最新機種を使う必要性は全くないので、おのおの6、7年前の1986年ごろ発売された中古品を用いた。2HDの5インチハードディスクの使える機種であれば（つまり、PC9801シリーズであればVM以降のもの）どの機種でも使用可能である。それ以前の機種（FまたはEタイプ）でも可能ではあるが、メモリ増設、5インチ2HDフロッピーの読み取りにドラ

イブを外付けしなければならぬなど、いくら本体が安くとも全体としては経済的にならない。

なおフロッピーディスクとしては、3.5インチ2HDも使用したことがあるが、理不尽に突然データが読めなくなるなどの事故の発生をしばしば経験したので、最近では意識的に用いていない。5インチ2HDを、プログラム文書の媒体として推奨したい。漁協の中などという塩分の雰囲気濃い、パソコンにとって苛酷な条件下では、3.5インチフロッピーのような物理的に小さな記録媒体により事故が多く発生するようである。

漁協においたパソコン（N部）には、後部スロットにADコンバータのボードが取り付けられる。本研究では、カノーブス電子社（神戸市東灘区）製の「アナログプロI型」を使った（接続コネクタを付属して1枚約9万円）。このADボードには別料金注文によって機械語で書かれた高速サンプリングモードで使うことも可能であるが、津波の観測のようなサンプリング間隔をさほど細かく設定する必要のない場合には、Basic語で入力ポートを一度ずつ検索する普通のサンプリング方法で十分である。漁協側のパソコンにはまた40MBのハードディスクが付属しており、データはこれに書かれる。このためプログラムの土台となるMS-DOSのバージョン2.11では拡張format処理ができず、3.1以降のものを使わなければならない。

8. データ処理プログラム

パソコンは漁協と消防署（または町村役場）の双方に置かれる。このうち漁協側のパソコンには、データの採取、漁協でのディスプレイ装置（テレビ）へのグラフ表示、データの保存、モデムを通じて消防署へのデータ伝送の4つの仕事をこなすプログラムを走らせる。消防署側のパソコンはただ漁協からの信号を受けてグラフ表示するだけである。

8.1 データの採取と保存

カノーブス電子のAnalog-ProのADコンバータのボードは、日本電気のPC9801シリーズ、またはエプソンPC286シリーズのパソコンの裏面のスロットに差し込んで使用する。ボードの上には、アナログ信号（電圧信号）の取入れ口が8チャンネル分（チャンネル番号0から7まで）ある。おのおのにプラスマイナス5V以内の電気信号を接続すると、パソコン側で12ビット（±2048の範囲）のデータとして取り込むことができるようになっている。これを動かすプログラムはBasic、またはC言語で書かれる。

われわれはMS-DOSコンパイラ版のBasicでプログラムした。データの採取間隔は10秒を単位とした。この「単位とした」の意味はこうである。データ採取ルーチン（図-6）を走らせると、CHNLという名の変数で指定されたチャンネルのデータが取り込まれ変数DSに置かれる。コンパイラBASICで連続的にこのルーチンをよびだすと、1秒間におよそ200個のデータをとりこむことができる。そこで10秒の単位サイクルの最初の2秒間でデータの取り込みを行う。約400個の測定データが得られるが、その標準偏差 σ を計算して、 $\mu \pm 2\sigma$ （ μ は平均）を越えるデータは捨て去り、残りを平均してその10秒間の代表値とする。この計算はパソコン内部では1秒以内のうちに終るので、残り7秒間はパソコンは遊んでいることになる。

データは1時間分貯るとハードディスクに書き出される。毎日23時59分50秒のデータ処理が終ると、書き出した後、ハードディスク上のこのファイルが閉じられ、次の日のための新しいファイルがOPENされる。この作業をパソコンにやらせるとおよそ5、6秒程度を要する。つまり、データ採取の間の「遊んでいる」7秒間に以上の処理がすべて完了する。こうして、データ採取間隔は乱されることなく10秒ごとのサンプリングデータが蓄積されるのである。

```
18240 '
18250 *DATAGET
18260   OUT &HD0,CHNL
18270   OUT &HD2,0
18280   WHILE ( INP(&HD0) AND &H80 ) = 0 : WEND
18290   HL = INP(&HD2) : HH = INP(&HD0)
18300   DS = (HH AND &HF)*256 + HL - &H800
18310   RETURN
18320 '
```

図-6 AD変換ボードからデジタル変換値を読み取るサブルーチン

8.2 グラフ表示

データは漁協、消防署とも同じ形式でグラフ表示される。1日分が1画面に表示されるようになっており、テレビ画面左右一杯に6時間分のデータが線表示される。0に左端から紫色の線でプロットが始まって6時に右端に終る。すると色が緑色に変わって再び左端から線が始まる。以下6時間ごとに黄色、白と変わって1日分の記録が終るのである。モデムを通しての消防署へのデータ通信に関しては、章を改めてのべよう。

9. モデム送信

9.1 モデム送信入門

われわれは、岩手県田老町において、港に近い漁協にデータ処理、モデム送信用パソコンを置き、そこから約600mはなれた田老町役場の庁舎内にモデム受信用パソコンを置いて、港の海水位のデータを時々刻々町役場で見られるようにした。当初われわれはデータ通信にかんしては全くの未経験者ばかりであったので、モデムハード、パソコンハード、Basic語文法の説明書と首っぴきで始めたが、あちこちに「つまずき」があった。野球を一度も見たことがない人が、野球のルールブックだけを与えられて実戦にまでこぎ着けるような道のりを経験したのである。

データを送受信する装置としては、オムロン社製MD24FP5V型インテリジェント・モデム(1個3.7万円)を2個購入し、双方に用いることにした。

ところで、パソコンでデータ通信を経験する人は多いと思われるが、その大部分は、「ESTERM」や「マイトーク」、「糸電話」などの既成のソフトを利用している人であろう。これらのソフトでは、ひとつの固定したファイルをまるごとどこかへ送るといふ、単体の処理をするのには非常に有用なものである。しかしながら、それらのプログラムは独立して「閉じた」プログラムである。この意味

で、これら既成のソフトは既成のワープロやゲームのソフトと変わるところがない。一般むけの説明書も数多く販売されており、これですむならさほど「つまずき」の起きるところはない。

ところがいまわれわれが必要としているのは、自作のプログラムが走っている最中に通信をおこなう瞬間がある、という動作である。自作のプログラムの途中でゲームソフトを走らせ始めて、終わったらふたたび自作のプログラムに戻るといふような動作を、一般のゲームソフトに対しては行うことが不可能なのと同様に、これら既成の通信ソフトをわれわれのプログラムを主ルーチンとして、通信機能だけ子システム、あるいはサブルーチンとして取り込むということができない。このためこれらの既成ソフトやそのガイドブックはわれわれの目的には全く役に立たない。

リアルタイムのデータ通信を行うには、その「道」のいくつかの常識があり、全く始めて通信を行うひとには、「マニュアルを読んだだけでは、こちらの意図とおりに動かない」という事態にしばしば陥る。それは、モデム製作者と一般市民との常識レベルに段差があるためであると考えられる。

俗なたとえでいうと、ある国を旅行して宿をとる旅人になったとする。その人はホテルの窓口で、泊まりたいのですが部屋はありますか?と聞く。イネスという返事が帰ってきた。旅人は、それで、おいしい食事にもありつけ、快適無事に朝までベッドでゆっくり休めると考える。「市民の常識」であろう。ところが意地悪な(というか常識に段差のある)モデムホテルの主人から、「あれ、ご飯いるのですか?お箸いるのですか?お風呂いるのですか?枕いるのですか?布団いるのですか?だってあなた部屋はあるかとは聞きましたが、枕がいるとは言わなかったじゃないですか?枕がいるならいと言わないとうちは枕を出しませんよ」と言われてしまった。

この珍妙なスレ違いの原因は、その道に入

る人の暗黙の「常識のベース」が案外どこにも書かれてはいないことにある。「地球の歩き方」のような、全くの初心者視野でみたら、という立場にたった老婆心にみちたガイドをしてくれるマニュアル執筆者は残念ながら、パソコンとその周辺技術の畑にはほとんど一人もいないように見える。したがって、経験ある助言者が周囲にいないとき、マニュアルだけをたよりに通信をはじめようとすると、一歩すすむたびに「落とし穴」に陥る。「そんならもっと早くそう言え」と心のなかで叫ぶことの連続なのである。われわれの陥った落とし穴をここに明記して、自分もやってみたいという読者の注意を促しておくことにする。

9.2 「モデム通信の歩き方」

パソコンショップの店頭でデータ通信をするのだがというと、たとえばオムロンのMD24FP5V型をすすめられ、「マイトーク」やら「糸電話」やら「イーターム」のどれかのソフトを買わないとこれは使えないという。まず、世間一般の使い方の99%は、パソコンネットワークへの加入に使われているからである。パソコンショップの店員にしてから、自作のプログラム途中で、10秒に2バイトずつリアルタイムでデータ送信する、などという使い方は始めて耳にすることのようであった。じつは、すでに述べたようにいまの目的にはこれらのソフトは全く使えないのである。

また、専門書もあつかう大きな書店の店頭でデータ通信の本がいくつか並んでいるが、ほとんどの書物で取り扱っている問題が現在の課題とずれていて、まず100%いまの目的の参考にはならないものばかりであった。

このような初心者（つまり3カ月前のわれわれ）の「つまずき」を意識してモデム通信の方法を述べておこう。

とにかく、このモデム装置2個を買ってきて、パソコンを2台用意し、おのおのRS232Cケーブルとつなぎ、モデム同志を直接2芯線で結線してみる。ここで、次の準備

作業が必要である。

〔作業1〕モデム装置の上の6個並んだDIP SWITCHは工場出荷のままでは、いまの目的に使えないので、SW4をoffからonに、SW5をoffからonに切り替える。あとの各switchは工場出荷時の設定のままとする。

「ER信号動作切り替えを常時ON」、「CD/DR信号自動切り替えを常時ON」とするためだそうである。この作業を行うことによって、どちらのプログラムが中断してもモデムは起動しつづけることになる。つまり、2つのパソコンのプログラム、モデム通信線、の3者が、他の動作とは無関係に独立して走ることが可能になるのである。

〔作業2〕双方のパソコンがRS232Cケーブルを使用できるように、双方のパソコンにかける起動フロッピーディスクの「CONFIG.SYS」のファイルのなかに、

「DEVICE=RSDRV.SYS」の1行を入れておく。そしてそのフロッピーディスクに、MS-DOSのOSのフロッピーに付属しているはずである「RSDRV.SYS」のファイルをコピーしておく。これによって、立ち上げ時「RS232Cが使用可能です」の文字が出るようになればOKである。

〔作業3〕送信側、受信側の双方のパソコン側で認識する通信条件一致させるために、たとえばMS-DOSのOSの「SWITCH」を起動して、RS232Cのメニューを選び出し、次の条件に設定する。

| | |
|---------|----------|
| ボーレート | 2400 bps |
| データビット長 | 8ビット |
| パリティ | なし |
| STOPビット | 1ビット |
| Xパラメータ | 有効 |

〔作業4〕直接モデム同志をつないでも、専用回線を用いても、普通の電話線を用いても使えるようにするためには、受信側モデム装置は自動着信を禁止しておく必要があるのだ

そうだ（このへんの文章の意味内容は、必ずしも正確にわからなくても良い。内容を理解しないで、ただオマジナイと割り切って無批判に従っても用は足りるからである）。これはモデム装置内部のメモリスイッチのS0をゼロにすると実現するという。このためモデム装置を買うとパッケージ内に同封されている説明書の、「ターミナルモードの起動」の説明に従って、この動作を行うわけであるが、ここに重大な注意がある。

<重大な注意>モデム説明書の説明によると、この作業をおこなう「TERM」という命令はN88BASICの命令である。ところが、よく知られているように、N88BASICというのは、

(N)独立N88BASIC。つまり、PC9801のパソコンを買えばタダでついてくる、フロッピーのOSシステムによるBASIC。説明書には「ディスクベシック」と称している。

(I)MS-DOS版インタープリタBASIC

(C)MS-DOS版コンパイラ型BASIC

の3種類があって、(N)と、(I)、(C)とでは異なったOS上で動く。もちろん(I)、

(C)は(N)と同一の動作をするように設計された言語であり、ほとんどの命令が3者共通している。しかし、ハードを直接いじるような数少ない命令のなかに、(N)にだけあって、(I)、(C)にはないものがある。「TERM」命令もそのひとつである。さきざきの作業はもちろんMS-DOSのOS下で作業を行うのであるから、こんなところで、

(N)のBASICを使うと、あとで困るのではないか、という危惧するのは、じつは杞憂である。この作業はただモデムの内部メモリスイッチを書き換えるのだけが目的なのだからである。

そこで、パソコンを買うとタダでついてくるN88BASIC(N)のフロッピーディスクをA:ドライブに入れてresetボタンを押してたちあげ、How many files (0-15)?や

User identifier?とでたらどちらも<return>を押す。次にOKとでたらTERM<return>と押す。ふたたびOKとでたらAST0=0<return>と押す。これで受信側モデム装置は自動着信が禁止の状態になった、のだそうである。(注:じつは、電話線を介さず直接つなぐ場合、または専用回線を利用する場合には、この作業は省略することができる。しかし、電話との互換性を考慮すれば、この作業によってモデム内のメモリスイッチを書き換えておくのが賢明である。)

[作業5]双方のプログラムの作成

実際にデータ採取、テレビ画面への表示、データの保存、およびモデム装置、専用回線を通じてパソコン制御はBasicで書かれたプログラムを走らせることによって行う。その送信動作は、あたかも“COM:”というfileが実在するかのように、書き出せばよい。すなわち、

```
OPEN "COM:" AS # 1
PRINT #1,(変数名);(変数名);(変数名);
.....
.....
CLOSE #1
```

でよい。しかしデータを受け取る方は、上のプログラムの、「PRINT #1, ...」を「INPUT #1, ...」に変更するだけではダメである。送信がわのタイミングと受信側のタイミングを調節しなければならないのと、受信側のバッファ(データ貯蔵庫)の満タン時のパンクによるプログラムの停止を予防しなければならないからである。そこでプログラムを次のようにする。すなわち、まず次頁の図-7の3000番-3300番の4行の形を、通信回線を停止して、停止した直前に読まれた1行分のレコードを読み取るサブルーチンとして用意しておく。細かいことだが、PRINT側は「;」で変数が区切られるのに対し、INPUT側は「,」で区切られていることに注意する。つぎに、メインルーチン

に沿って先頭からきた制御の流れが2000番の行にくる。この行は、「これ以後もしくCOM ON」の行が現れてから「COM OFF」が現れるまでの間にデータが送られてきたら「*ICHIGYOUYOMU (一行読む)」に飛べ」という意味の命令である。データが送られてくるまでの間、プログラムの制御は2200行と2300行のあいだでムダに時間をつぶしてたらいまわしさせられる。そしてある瞬間にデータが送られてきたら3000行に飛んで、3100行で回線が閉じられ、それ以上データが無駄にはいつてくるのが阻止される。そして3200行で、ただ1レコード(行)分の記録だけが読み取られて、2400行にすすみ、つぎの作業にうつる。

このプログラムの特徴は、1レコードが送信されると、すぐ回線が切られる(COM OFF)ことで、このため受信側のモデムのバッファ(データ貯蔵庫)に無駄なデータがたまることである。この3100行の文がないと、データの貯蔵がおきて、古いデータがとりだされる、あるいは満杯になったときプログラムが停止する、といったまずい事態が起きる。

```

1000 OPEN "COM:" AS #1
2000 ON COM GOSUB *ICHIGYOUYOMU
2100 COM ON
2200 *MUDAMACHI
2300 GOTO *MUDAMACHI
2400 *TUGINISUSUMU

3000 *ICHIGYOUYOMU
3100 COM OFF
3200 INPUT #1,(変数),(変数),....
3300 RETURN *TUGINISUSUMU

```

図-7 モデム受信側プログラム

以上の点に注意すれば、グラフィックス、ハードディスクへのデータの保存について

は、通常のBASIC文法の知識で容易になしうるであろう。以上の準備がおわり、所定の接続をしてモデムに電源を入れれば、データ送信を始めることができる。

9.3 通信にさいして、漁協と消防署で何をするか

漁協側に送りだし側パソコン、モデム、専用回線、または電話回線、ソフト、をもったA氏がいる。消防署(町村役場)側に受信側のこれら一式の装置をもったB氏がいる。A、B両氏の間には別の電話線、または無線機があって常時会話が可能である。この状態でどう操作すれば全システムの作動状態に入れるかを述べよう。

専用線ならばそのままただちにはじめられるが、電話線を用いている場合にはダイヤル発信によって線をつなぐ。パソコンでのプログラム起動より通信線のOPENのほうが先という大原則で進める。次の手順で全システムが動き出すはずである。

- ① 両方のパソコンの電源を切る。
- ② 両方のモデム装置の電源スイッチを「OFF」(断)、手動着発信スイッチを「AA」(モデムコマンド、自動)にする。
- ③ 双方連絡をとりながら、ほぼ同時に電源スイッチを「ON」にする。少々のズレはかまわない。
- ④ 両方のモデムが電源「ON」になってから1分以内に、漁協(送信)側は「AA」から「ORG」に、消防署(町村役場)側は「AA」から「ANS」に手動着発信スイッチを切り替える。
- ⑤ 1、2秒後にビー、ガリガリという音がして、ラインモニタの赤ランプが3つ点灯しているのが見られたら、モデム間の接続はOK。
- ⑥ 消防署(町村役場、受信)側のプログラムを走らせる。
- ⑦ 漁協(送信)側のプログラムを走ら



写真-3 漁協側出力



写真-4 田老町役場に設置された津波常時監視装置

せる。

以上の動作で正常に作動を開始するはずである。

10. 費用について

田老町の経験によると、この津波監視システムの製作費用の実費は次の通りである。

3 m, 径100mm, 肉厚3 mmの真鍮の検潮管の材料費用は約10万円, 圧力センサーが7万円, 電子部品がすべて合わせて1万円, パソコンは東京秋葉原で中古品を購入して十分であるから, 約1台10万円(テレビを含む), 2個いるので, 20万円, カノーブス電子のAD変換ボードがコネクタを含めて約9万円, 100mシールド線が2万円, モデムが2台7万円, 耐雷装置が9,000円, 40メガハードディスクが6万円, 以上材料費合計62.9万円, ざっと65万円で完成する。

通信線の確保に要する費用は, 市内同志の2点間(漁協・町役場間)に1年間専用回線

を開設するのに要する回線費用は約8万円であった。これに初期開設におよそ10万円強の費用を要する。結局初年度に約90万円, それ以後の維持費用に年間約10万円を要することになろう。

住民の安全確保という点からみればまことに安い出費であるということになるであろう。

ただし, 金属工作, 電子工作, 岸壁面への取り付け工事に要する費用, 運搬費, などはほとんど自前の労働提供でおこなった。さらに出張旅費などは別途要し, これらを商業ベースでおこなうと, もう少し費用を要することとなろう。

参 考 文 献

- トランジスタ技術編集部, 1988, メカトロ・センサ活用ハンドブック, ハードウェア・デザインシリーズ, CQ出版社, 223pp.
渡辺偉夫, 1985, 「日本被害津波総覧」, 東京大学出版会,