

## 無線通信装置の高所における遭難の予防 及び医学学術調査への応用

—京都大学ヒマラヤ医学学術研究における調査を中心にして—

遠藤克昭

京都大学医学部生理学教室

1989年から開始された京都大学ヒマラヤ医学学術研究において、無線通信装置を、遠征活動中の遭難の予防及び救助のための信号発信器、環境情報の検出器として活用するための研究計画を開始した。これは、今後の遭難事故の予防対策および学術調査の進展のためにも、出来るだけ速やかに実用化する義務があるので、その概略をここに報告する。さらに、高所で行動中に人体の電気活動を連続記録する方法も考案したので、その結果も簡単に述べる。この方式も、緊急時には遭難事故の救助活動に応用できるため、その点についても説明する。最後に、1991年4月にスイスで開催された国際高所医学会議に出席して得ることのできた最近の欧州のアルプス地域における遭難救助対策に関する新しい情報を簡単に紹介する。

### 1 はじめに

統計によると、ヒマラヤ高地における遭難死亡事故の大多数は、雪崩及び転滑落が直接の原因となって発生している。これを防ぐための対策として、今回の学術調査において、現在の遠征活動の際に携帯する無線通信装置を多角的に活用する方法を考案した。これにより、上記の遭難を誘発する天候および環境の変化、低酸素と寒冷により生じる人体の脳機能障害等をすばやく感知して、これらの誘因による遭難事故を予防するとともに、遭難者を救助するための方法を具体的に検討した。なお、通信装置により得られた気象情報を遭難の予防のために現地で活用する方法、および、新しく考案された半導体ユニットなどの回路やその製法に関する技術的資料については別の機会に詳細が報告される予定である。

### 2 雪崩、転滑落等による遭難の予防及び救助活動への通信装置の応用

今回のKUMREH'90を中心とするヒマラヤ医学学術調査において、我々はトランシーバーを1台

ずつ携帯し、必要に応じて隊員間の連絡のために使用したが、さらに新しい使用法を工夫して、これを遭難事故の予防と救助のために活用するための調査研究を行なった。平地から隔絶した地域で遠征調査活動やフィールドワークに長期間従事していると、雪崩や転滑落などによる事故に遭遇する確率が大きくなるが、以下に述べる対策は、これらの事故による致命率を少しでも下げるための努力の一環である。

これまでの調査で、我々が携帯したトランシーバーはFM方式で、144MHz或は430MHz帯の電波を使用した。この装置の外部マイクの接続用端子に1k $\Omega$ 前後の抵抗を接続すれば、発信状態が持続する。即ち、この状態で雪崩や転滑落による遭難者の探知用発信器として使用できる。本機を携帯している隊員が雪崩に埋没したり、クレバスに転落した時は、探索者は埋没者の発信電波を自身の持つトランシーバーで受信し、その電波が最も強く受信できる地点を見いだせば、通常はその下方が遭難者の埋没地点である。受信する電波の強さは、トランシーバーの液晶面に棒線の長さとして

表示される。発信源が近くにあるために、電波が強すぎて受信機の液晶面のスケールが振り切れる時は、受信機のアンテナを外すかその周囲を金属で覆って感度を下げる方法も試みる。強風時、あるいは夜間などの悪条件下においても電波の強度を視覚的に読み取る事が出来る。この方法は雪崩だけでなく、他の事故により行方不明になった隊員を探索する時にも応用できる。電波の到達範囲も数100mから数10Kmにおよぶ。以上に述べた方法をさらに有効に活用する手段としてVOX操作プログラムの運用法がある。この機能は最近の携帯型トランシーバーに内蔵されている。VOX回路に音波入力、あるいはサーミスタを用いた低温作動入力、さらには、人体の電気活動(筋電図等)等が入力に加われば、電波の発信スイッチが入るように回路を工夫しておく。即ち、雪崩による衝撃波、強風、低温等の環境の変化が生じた時に無線機は発信を開始する。このような方式によりトランシーバーを作動させた時の電波の発信持続時間はアルカリ乾電池を用いて約2時間であった。さらに、この持続時間を延長するために、我々は10-20秒おきに1-2秒間だけつながる電子スイッチを作って、電源の消費量を節約した。これを前記の抵抗に直列につないで入力に接続する。これにより発信持続時間は10倍以上に延長した。可聴周波数の発信回路を直列に接続すれば発信電波を可聴音としてモニターすることもできる。さらに、最近の省エネ型のローパワー送信機構を備えた機種(例えば、市販の製品として、KENWOOD製TH-45G型等)を使用すれば、15時間以上にわたって電波を連続発信することができる。発信電波の強度は10%以下になるが、雪崩に埋没した時はこの場合の方が発信電波の方向を探知し易くなり、一般に埋没者の発見が容易になる。ローパワー送信時には電波の到達距離は数10mから数Kmと短くなる。

次に、環境変化を検出するための方法の一つとして水センサーを用いて積雪量をモニターする装置を考案した。この装置の使用法を述べると、たとえばセンサーを雪面から上方50cmの位置にセットすると、積雪が最初の雪面の上にさらに50cm加わるとセンサーが作動して警告信号を発生する。センサーをセットしてから警告信号が発

生するまでに経過した時間を知れば、積雪が50cm増加するに要する時間がわかる。この方式は、睡眠中の積雪量をモニターする際に特に有効である。たとえば6時間で50cmもの積雪があれば、少しでも斜面に近い場所では雪崩の危険が間近に迫っており、直ちに緊急避難を要するであろう。これらの装置に使用する半導体やICユニットは、氷点下50℃位までの範囲の低温下でも作動する必要があるので低温用の特別規格品(例えば、National Semiconductor社製のLM163型のPrecision Instrumentation Amplifier等、国内で入手可能)を使用する。なお、この方式により、観測点における雪崩の発生を感知することもできる。

さらに、各人の使用している無線機の発信周波数のちがいにより電波発信中の隊員を同定するために、各人の専用周波数を前もって決めておいて、例えば、1MHz或は0.1MHzおきに電波を発信させる方法も有効である。各隊員の発信する電波を親局のトランシーバーでスキャン法によりモニターすることもできる。温度検出器を使用して特定の温度において警報電波を発生する装置も役に立つ。即ち、温度センサーを人体につけ、警報電波の発生温度を35℃に設定しておけば、本人の気付かないうちに進行する低体温症の早期発見に活用できる。以上の方式は、すべて遭難者が生存している時に現地で役立つ事を最優先にして、その対策を立てたものである。なお、金属探知機や超音波探知機による方式は僻地における生存者の救出には現在の性能ではほとんど実用性がないので、ここでは触れないことにする。

### 3 人体の電気生理学的調査への応用

今回の高所医学調査で使用したトランシーバーには、外部マイク用の端子がついている。この端子に増幅器を介して外部から入力を与えて、大脳誘発電位、脳波、神経活動電位、筋電図、心電図、心音、肺の呼吸音、動脈血酸素飽和度、体温の変化などをトランシーバーからFM波として送信し、ベースキャンプあるいはラボキャンプにおいて、そこから距離的に離れたところにいる被検者の神経系や循環系の機能をモニターすることも可能となった。但し、心電図、脳波などには10Hz以下のおそい成分が含まれているので、波形を忠実に

再現するためには、回路上の工夫が必要であった。トランシーバーのマイク端子から入力を与えた場合、100Hz以上の波形は原波形がかなり忠実に送信されるが、それ以下の周波数成分からなる波形（脳波、心電図等）は、おおよそ、その微分波形として送信される。このためトランシーバーで受信したこれらの波形を、積分回路を通して原波形に近い電位として再現することが必要であった。積分回路は、通常の抵抗とコンデンサーで構成される近似積分回路で充分実用になった。受信した人体の電気現象は、カセットデータレコーダ（TEAC、HR-10型、DC-2KHzまで記録可能）に保存し、後日再生してデータ処理と測定を行った。このシステムにより、人体の行動中の電気活動を連続記録することも可能となった。心電図、筋電図、体温変化等の電気活動を、記録中にモニターすることにより本人の一般状態を知ることもできるので、低体温症、事故などによる機能障害の発生も現場から離れた地点で直ちに感知することができる。

#### 4 使用した無線通信装置の特性について

この度の調査では無線通信装置として、YAESU製FT-23型、FT-204型、FT-212型、MARANZ製C-412型およびKENWOOD製TH-45G型のトランシーバーを準備した。FT-23型は、小型の携帯式トランシーバーで、各自が1台ずつ常時携帯して使用した。本機は登山活動および調査活動を円滑に進める上で、大変役に立った。FT-212型は、設置式で、通常はBC又はABCの固定局として使用したが、電源には乾式蓄電池を使用した。ガソリンエンジン式交流発電機に、定電圧直流安定化電源装置を組み合わせても作動させることができたが、電波の受信感度および信号対雑音比は、蓄電池を使用した場合に比べて悪く、改良の余地があった。これらのトランシーバーを使用して、明らかになった点は、高度が上がって気温が下がり本体の温度が低下すると、乾電池の機能低下も加算的な要因となって、動作が不確実になることであった。これは、低温下でも性能低下の少ないリチウム電池を使用することにより改善することが出来る。

使用した気象ファクシミリ（FAX）はJRC製

JAX-9型で、小型で軽量化された機種であったが、比較的低電圧で作動し、消費電流も少なかった。この機種はプログラム受信が可能であるため、現地で良画質の気象情報が受信できる気象FAX放送の周波数を決めておくと、あとはスタートスイッチを押すことにより、全ての操作を自動的に行うことができた。また本装置には専用タイマーが10チャンネル内蔵されているため、設定した時刻に自動的に気象FAX通信を受信することも可能となり、さらに、これをレコーダに記録しておいてあとで再生することもできた。また、本機は500KHz-25MHzまでのAM放送の受信も出来るので、長波から短波に至る放送電波の受信および長距離のアマチュア無線の受信も可能であった。それ故、これらの電波ソースから気象情報、社会情報、あるいは特定の相手からの情報も得ることができる。気象FAXの受信機に要求される性能としては、まず、明瞭な雑音の入っていない画像が受信できること、次に受信装置が簡単なこと、故障の少ないこと等が挙げられる。なかでも、明瞭な画像を受信するためには、最も伝播状態の良い周波数を選ぶことが重要である。日本気象庁のファクシミリの放送（JMHおよびJMJ）の場合は、3、4、7、9、13、18、22MHz帯の電波が同時に送信されているので、このうちから最も電波障害（混信、フェージング、マルチパスエコー等）の少ないものを選ぶことが重要である。本機には、この電波監視機能が付加されている。電源としては十分な容量の乾式蓄電池を使用することにより安定な動作を維持することができた。しかし、ABCでの使用場所が、出入口の横であったため、風雪、風雨の吹き込みによる温度の低下及び湿度の上昇が主要原因となって動作が不確実となった。この点は、今後、大いに反省し、敏速に対応しなければならないと考えている。

通信内容の録音、人体の電気活動の記録等のためのレコーダとしてはTEAC製、HR-10型のカセットデータレコーダを使用した。このレコーダは、AM入力をFM波に変換してテープに録音するため、DCから2KHzまでのAM波を記録することが可能であった。主に医学検査において記録された脳波、誘発電位、心電図、その他の電気活動情報を記録し保存したが、トランシーバーを通して受

信した電波情報、気象ファクシミリで受信した放送の情報も保存できた。本機も氷点下10℃以下になると動作が不安定になり、7700mの高度における記録の際には動作が途中で停止した。これは、乾電池の性能低下、あるいは電子回路部品の低温域における特性の悪化によるよりも、むしろモーターやテープ送行部の回転摩擦の増大によるためであることが判明した。これを防ぐために、高所の寒冷環境において回転機構を確実に作動させるために注油部の低温処理、即ち、低温においても粘度の上昇しない油に置き換える処理を行うか、或は、油を完全に除去して使用する必要がある。この処理方法は気象ファクシミリの回転機構に対しても適用することにより、さらに低温における動作が確実にとなると考えられる。

## 5 無線通信装置の電源および保守

今回の調査では携帯式トランシーバーおよびレコーダの電源としては、アルカリ乾電池を使用した。第3キャンプまではこれらの装置はこの電池で確実に作動したが、第4キャンプ以上においては主として低温のため、電池の電圧が短時間のうちに低下し動作が不確実になった。これは、レコーダの動作において特に顕著であった。固定局として使用したFT-212型トランシーバーおよびJAX-9型の気象ファクシミリの電源としては、新式の乾式蓄電池が威力を発揮した。交流発電機により直流安定化電源を作動させ、これから得られた直流電源を使用した場合は、感度、雑音及び安定性の面で多くのトラブルが発生した。それ故、雑音の少ない高品質の電波を受信するためには、乾式蓄電池を使用する必要がある。また、7000m以上の高所の低温環境において、脳波、誘発電位のレコーダ、或は、ホルター心電図のレコーダの電源としては、低温でも性能の低下のすくないリチウム電池を使用すれば信頼性も上がり、これにより確実な記録を得ることができると考えられる。

## 6 欧州における山岳遭難救助対策の現状

まず、我々も既にKUMREX'90において調査を開始しているが、この度の国際高所医学会議(1991年4月、スイス、クランスモンタナ)にお

いても、高所における高山病の加圧治療のための装置として、Gamow Bag及びFrench Certec Caissonが紹介された。これらの装置を4250mの高度において、14名の肺水腫あるいは脳浮腫の患者の治療に使用したところ、1時間の加療で臨床症状の急速な改善が見られた。このうち、重症の3名についても2-3時間の加療により同様の効果が認められた。これらの2つの装置の間には機能的に特に差はなかった。しかし、使いやすさの点ではFrench Certec Caissonの方が優れていた。また、動脈血酸素飽和度の値は高山病の症状の改善の有無や重症度とは関係がなかったとのことであるが、この点に関しては再検討が必要と思われる。

次に、本報告においても詳しく述べたが、雪崩に遭遇したりクレバスに転落して行方不明となった遭難者を発見し救出するための発信器として、スイスAscom社のBarryvox VS68型器が紹介された。使用周波数は457KHzで受信器も内蔵しており、電波の到達距離は60m、アルカリ単3電池を2個使用して15日間連続して電波を発信することができる。主に、アルプスの積雪地域で任務についている者、スキーヤー、登山者等に使用され成果をあげている。転滑落や低体温による行方不明者の発見にも役立つ。このような発信器が我が国においても広く活用されることが望まれるが、現在のところ、入手が容易でただちに実現可能な方式として、我々の考案したトランシーバーを救助用発信器として使用する方式が普及することが期待される。

欧州における山岳遭難の救助には、ほとんどの場合ヘリコプターが使用されている。今回の会議において報告されたSwiss Air Rescue Services (REGA) による救助活動の統計を例にとると、1990年1月から12月までの期間にヘリコプターにより救助された登山者の人数は2944名であったが、このうち413名は険しい事故現場からウィンチにより釣り上げてそのまま病院に急送された。この413名のうち、35名は死亡し(MEDICAL INDEX: NACA-INDEX 7)、78名は手当により命をとりとめ(INDEX 4,5,6)、228名が救急治療を必要とした(INDEX 2,3)。これをみると、遭難者の救助は一刻を争う必要があり、ヘリコプターの使用は適切有効な手段であることがわかる。



他のヘリコプターによる救急サービスシステムとしてはAir Zermatt, Air Glaciers, Aerospatialeなどが紹介された。会議の期間中にも、近くの氷河でヘリコプターによる救助活動の実演が行われた。今後、ヒマラヤやアンデスにおいてもこのような方法が確立されれば登山者だけでなく、他の多くの救急医療を必要とする患者が恩恵をうけることができるであろう。ただし、現在の救急用ヘリコプターの性能では高度5000mあたりまでしか登れない機種が多いのでこの面での改良が早急に望まれる。さらに、遭難現場において救急医療が必要とされる場合に、ヘリコプターで運んで使用する小型の酸素吸入装置、人工呼吸器、心電計、除細動用刺激装置、低体温症用の加温装置、電源装置等を用いた救急システムが展示され、その使用法も紹介された。もちろん無線通信装置も完備されていて常に連絡をとりながら救急活動をすすめる体制になっていた。このシステムは、医療施設から遠く離れた僻地で発生した患者や負傷者を救出し、救急医療を行うためにも役立つので、欧州でも、道路や地上の輸送機関の発達していない地域で広く利用されている。

我々も日本アルプスの山岳診療所で登山者の診療と救助活動を、1960年以来、多くの協力者の援助により推進して来たが、我が国においても今後進むべき道として、現在の欧州における山岳地域の救急システムは一つの規範になりうると考えられる。

## 7 おわりに

本報告においては、無線通信装置を高所における遭難の予防と救助のために適用するための新しい方式の幾つかを概説した。しかし、その実用化のためにはまだ多くの改良すべきところが残されており、また、実際に遠征で系統的に使用した結果の具体的な資料も得られていない。今後はこれらの問題に重点を置いて計画を進めて行きたい。また、これらの目標を達成するための基盤として、各人が無線通信装置の操作法に習熟して、緊急事態に際しても、直ちに救助活動がおこなえるように、平素から万全の体制を整えておくことが必要である。

天災は忘れた頃にやってくる事が多く、先人

達もその予防対策を断えず推進する必要性を警告して来た。確かに、数十年に一度の確率で突然襲来する隔絶した地域での危難に備えて、常に最善の対応策を講じておくことは、まだ命のある我々の使命であるとも云える。しかし、この対策を真剣に実行するためには、一人一人の構成員の長年にわたる不断の努力と精神的緊張を必要とする。これを同志に期待するとともに、私も共に頑張っていきたいと念じている。

## 謝辞

この報告を作成するに当たり、無線通信装置および電源装置担当の隊員諸兄より貴重な援助と教示を受けました。ここに、深甚の謝意を表します。本調査は、京都大学委任経理研究費および文部省科学研究費の援助により行われた。

## 文献

- 1) 中島暢太郎：ヒマラヤの天気予報、山岳、78、1983。
- 2) 安成哲三ほか：ヒマラヤの気候と氷河、東京堂出版、1983。
- 3) 伊藤真次：適応のしくみ—寒さの生理学、北大図書刊行会、1974。
- 4) 遠藤克昭ほか：高所脳障害とその予防法、山岳、83、1988。
- 5) 遠藤克昭ほか：寒冷による脳機能障害とその予防法、山岳、85、1990。
- 6) 新田隆三：雪崩遭難に関わるトピックス、山岳、81、1986。
- 7) 山森欣一：日本のヒマラヤ登山と死亡事故、登山医学、9、1988。
- 8) M.ウード：高所医学、御手洗玄洋・中島 寛訳 山と溪谷社、1975。
- 9) E.ツィグモンディほか：山の危険、松井 博訳、朋文堂、1942。
- 10) Dubas,F.(1980) Aspects medicaux de l'accident par avalanche hypothermie et gelure. Z. Unfallmed. Berufskr., 73: 164-167.
- 11) Gray,D.(1987) Survival after burial in an avalanche. Br. Med. J., 294: 611-612.
- 12) Hackett,P.H.(1980) Mountain sickness: prevention, recognition & treatment. The American Alpine Club, Inc., New York.
- 13) Harnett,R.M. et al.(1983) A review of the literature concerning resuscitation from hypothermia: Part 1 - The problem and general approaches. Aviat. Space Environ. Med., 54: 425-434.

- 14) Hervey,G.R.(1973): Physiological changes encountered in Hypothermia. Proc. Roy. Soc. Med., 66: 1053-7.
- 15) Lloyd,E.L.(1986) Hypothermia and cold stress. Croom Helm, London.
- 16) Perla,R.I. and Martinelli,M.Jr.(1976) Avalanche Handbook. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 489. Fort Collins.
- 17) Pugh,L.G.C.(1966): Closing insulation and accidental hypothermia in youth. Nature, 209: 1281-86.
- 18) Somjen,G.(ed.)(1988) Mechanisms of cerebral Hypoxia and Stroke. Plenum, New York.
- 19) Ward,M.P.(1984) Accidents and death at altitude. In Lightweight Expeditions to the Great Ranges. Alpine Club, London, pp.38-43.
- 20) Waterman,J.(1983) Surviving denali. A study of accidents on mount McKinley 1910-1982. The American Alpine Club, Inc., New York.

## Summary

### Application of Wireless Communication Systems to Avoid Mountain Accidents and to Record Electrical Activities of Freely Moving Subjects

Katsuaki Endo

Department of physiology, kyoto University

In kyoto University Medical Research Expedition to Xixabangma (KUMREH '90), a new project was started to avoid mountain accidents using the wireless communication system as an emergency transmitter or detector. The electronic transceiver carried by persons or settled at the camp, could transmit various informations which could be picked up by another transceiver or receiver. Following devices were introduced.

1. Signals consisting of intermittent audio-frequency bleeps for avalanche rescue could be transmitted from buried victims using the transceiver. An optional oscillator was connected to the transceiver when used as a transmitter. Strength of received signals was visually monitored by the scale displayed on the liquid crystals of the transceiver.
2. The physiological data including electrocardiograms, arterial oxygen saturation value or body temperature were sent by the transmitter to find accidental hypothermia or severe mountain sickness as well as to obtain experimental data from freely moving subjects for high altitude medical research.
3. The meteorological and environmental informations such as measure of snow fall, changes in atmospheric pressure or temperature were recorded continuously, and informed immediately to all expedition members using the transmitter for forecasting of stormy weather or avalanche danger.