

スキー滑走時における運動機能の
計測・解析システムに関する研究

牛 山 幸 彦

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程
情報理工学専攻

目 次

1 序 論.....	1
1－1 研究の目的と背景.....	3
1－2 本論文の構成.....	8
2 スキーのターン動作における下肢関節角度 及び足底圧力変化について.....	11
2－1 はじめに.....	11
2－2 方法.....	12
2－3 結果および考察.....	13
2－4 まとめ.....	26
3 スキー技能向上のための動画像処理とその実用化.....	27
3－1 はじめに.....	27
3－2 システムの概要.....	30
3－3 スキー指導現場における実用.....	36
3－4 本システムの評価.....	41
3－5 まとめ.....	46

4	フィールドにおける生体情報収集・解析システムの開発.....	48
4-1	はじめに.....	48
4-2	システム開発の必要性.....	49
4-3	疲労評価を行うための生体信号.....	50
4-4	フィールドにおける 生体信号の計測とフィードバックシステム.....	51
4-5	まとめ.....	57
5	心拍変動と筋活動による繰り返し スキー運動時の運動機能計測・評価法.....	58
5-1	はじめに.....	58
5-2	実験システムの構成.....	59
5-3	実験・計測方法.....	59
5-4	解析・評価方法.....	62
5-5	結 果.....	64
5-6	考 察.....	74
5-7	まとめ.....	76
6	膝関節角度を参照した筋疲労評価方法の開発.....	77
6-1	はじめに.....	77
6-2	実験システムの構成および計測条件.....	79

6-2-1	実験システムの構成.....	79
6-2-2	実験・計測条件.....	79
6-3	表面筋電図による筋疲労の推定.....	82
6-3-1	筋電図解析区間の決定と抽出.....	82
6-3-2	MPF (Mean Power Frequency)の算出..	88
6-4	結 果.....	89
6-4-1	前脛骨筋の MPF 平均値.....	89
6-4-2	外側広筋の MPF 平均値.....	89
6-5	考 察.....	92
6-5-1	前脛骨筋と外側広筋の比較.....	92
6-5-2	MPF 平均値変動の 午前および午後の比較.....	93
6-6	まとめ.....	96
7	結 論.....	98
《 謝 辞 》	101
《 参考文献 》	102
《 研究業績 》	110

第1章 序 論

1 序 論

競技スキーとしては大きくアルペン競技とノルディック競技があり，アルペン競技は滑降（Down Hill），回転（Slalom），大回転（Giant Slalom），スーパー大回転（Super Giant Slalom）がある．ノルディックスキーにはクロスカントリースキー競技とジャンプ競技があり，それぞれの中にもクラシカル，フリーまた，ノーマルヒル，ラージヒル，スモールヒルなどの種目設定がなされ，さらにクロスカントリースキーとジャンプの両方を行って得点を競う複合競技（Combined）がある．競技スキーの中にはこれらの他にエアリアルやモーグルなども近年，オリンピック競技として行われている．

一方，レジャーとしてのスキーは，グレンデスキー（基礎スキー）を中心とし，国内でも長く広く浸透している．これは，レジャースキーの特性として，個人の体力レベルに合わせて行うことができ，日常生活とは離れた自然環境の中で楽しむことができるからであり，老若男女問わずに行うことができるからである．そして，滑走斜面を選ぶことなどで個々のスキー技能を自己評価できるということもあり，技術上達欲求を満たすこともできるという特性も併せ持つ．また，クロスカントリースキーやテレマークスキーなど，自然環境そのものを楽しみながら行うものもあり，楽しみ方も幅が広い．

以上のように，スキーというスポーツの持つ特性には様々な側面があり，競技的な側面とレジャーとしての側面に分けることができる．（図1－1）

本論文では，このような特性を持つスキーというスポーツにおいて，生涯スポーツとしての観点から，より安全に楽しむことができるための疲労評価方法の提案とそのシステムの開発を目的とした．

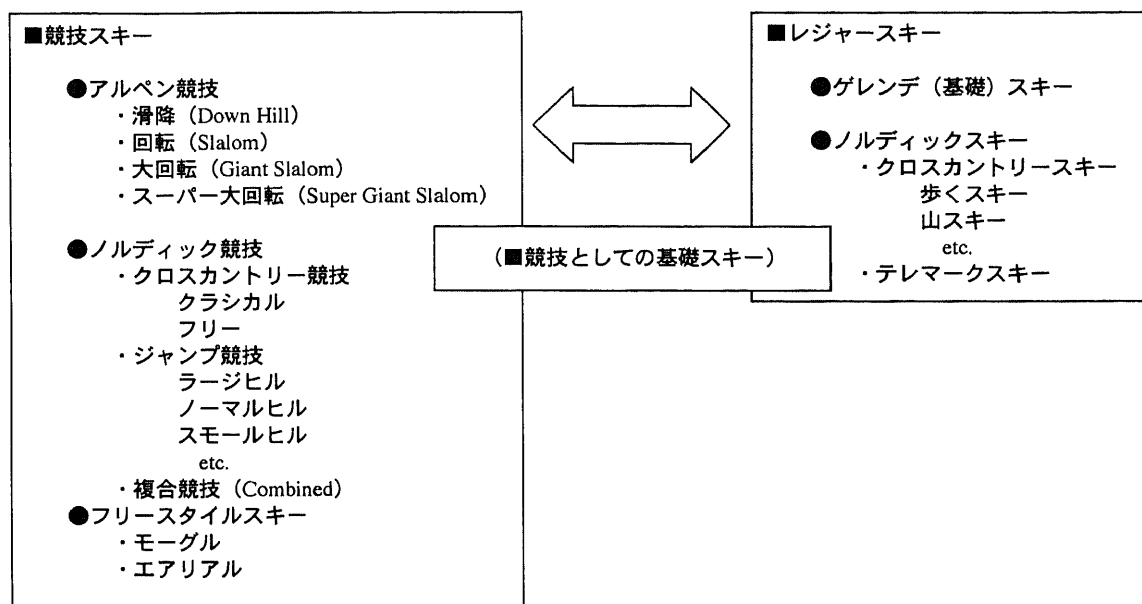


図 1－1 スポーツとしてのスキーの分類

1－1 研究の目的と背景

スキーをはじめとするスポーツに対するアプローチは様々なものがある。図1－2) 第一はそのスポーツそのものを実施することであるが、それをサポート、フォローする分野は数多くある。たとえば、スキーを行うためにはゲレンデを作り、リフトをかけていくなどのインフラの整備があつてはじめてゲレンデスキーが可能となる。また、用具の開発、特にスキー板の改良が近年非常に著しく進んできている。その結果、以前はターンを行う技術が身に付いていないと滑走できなかったが、最近では初心者でもターンが容易にできるようになり、その用具によってターン自体の質を格段に向上させることができるようになった。またこのことがはじめてスキーを行う初心者に対しての取りかかりにくさを排除することにもなっている。

また、スポーツは技能が向上することにより充実感を得られるということがあり、そのための技術分析、技術指導方法というサポートも重要である。技術分析には主にビデオ映像が用いられており、このことはそれ以外の分析方法の難しさを表している。技術指導では、基礎スキーの場合、全日本スキー連盟(SAJ : Ski Association of JAPAN) から指導教程が示されている。その他、指導にあたる指導者がそれぞれに研修を行い、独自の指導方法を検討している場合が多い。これは学校のスキー教室や、仲間同士のレジャースキーである場合、SAJ 傘下にある指導員が指導するものとは限らず、SAJ の指導教程とは無関係になされることが多いためである。

SAJ の教程の中にも重要視されているものが安全面である。レジャーとしてスキーを楽しむためにもまずは事故が起きないようにしなくてはならない。このためにもスキー場ではゲレンデ整備を行い、危険区域への立ち入りを制限し、パトロール人員の配置をしなくてはならない。

全国スキー安全対策協議会によると、スキー場における受傷率(%)＝総受

傷者数／総郵送人員数とした場合、1994/1995 年シーズンまではほぼ 0.006%であった。また、1995/1996 年シーズン以降は年々この受傷率は高くなってきており、2002/2003 年シーズンでは過去最高の受傷率の 0.0126%であった[1]。この8年間で受傷率が倍増したのはスノーボード人口の増加によるものであると考えられている。また、スキー用具の進歩により、スキーヤーもカービングスキーの利用者も多くなってきており、これによって高速ターンが行いやすくなっていることも事故が多くなる原因であると考えられている。水沢らによると、スキーヤー同士の衝突事故の要因として、1. ゲレンデの過密化、2. スキーヤーの滑走スピードの高速化、3. スキーヤーの安全知識の不足、などが考えられるとしている[2]。この様なことから、ゲレンデにおいて事故を未然に防ぎ、怪我を予防するためには、滑走スピードをコントロールするなどのスキー技術を身につける指導方法とその原理を確立することおよびスキーヤー自身の身体の運動機能の変化をとらえて疲労などの評価を行うことで無理のないスキーを行うことが重要であると考えられる。

スキーに関する研究はこれまで数多く行われてきている。指導方法とその実践によるものが最も多く、竹田は初心者指導において同一の指導内容で目的を達成したものとそうでないものの比較を行っている[3]、塚脇はオーストリアスキーの指導方法、カービングスキーの指導方法について考察している[4,5]。技術分析を行っているものも数多く見られ、袖山らはスキーターンと身体重心位置の関係を画像から三次元的に分析している[6]。三浦らはカービングターンとスキッディングターンの比較を行い、内傾角の違いなどを示している[7]。運動生理学的側面からのアプローチでは鈴木らが筋収縮様式からみた下肢筋群を評価するための基礎資料を提示している[8]。加藤らはスキー実習中における血液成分の変化について指導者と受講者を比較している[9]。また、近年ではスキーターンのメカニズムをモデル化した研究やロボットによって様々なタ

ーン技術の原理を探るものも多くなっている。藤田らはプルークのトップリフトモデルについてスキークの回転動作をシミュレートしており[10]、指導場面におけるトップリフトの有効性を示している。スキーロボットを用いた研究は清水らが数多く行っており、スキークの回旋とスキー板の角付けの関係[11]から、股関節および膝関節の内外転と回旋によるもの[12,13]、股関節の回旋による連続自動回転を可能にしたもの[14]など、スキーが回旋する要素をひとつずつ明らかにしてきている。一方、中野らはターン局面をロボット自らが判断して自立的に連続ターンを行うロボットの開発を行っており、これにより再現性のあるスキー操作の研究を行っている[15]。

安全面に関しては、事故の原因調査や事故件数の実態調査、受傷部位に関する研究も報告されている[1,2,16-19]。また水沢はゲレンデにおける衝突等の事故による硬膜下血腫の死亡を防ぐ取り組みについて紹介している[20]。

しかしながらいずれの研究も個々の問題について言及してきており、スキー技術、スキー指導法およびスキーヤー個別の身体の状態を判断して、総合的に安全を確保しながらスキーを楽しむ環境を整えるための研究は見あたらない。これから中高年齢者のスキー人口が増える中で、事故や怪我を未然に防ぐことは重要な課題である。この様なことから、ゲレンデにおいて事故を未然に防ぎ、怪我を予防するためには、滑走スピードをコントロールするなどのスキー技術を身につける新たな指導技術・方法の確立が望まれている。そのためには、指導方法を裏付けるスキーヤー自身の運動機能の変化を計測し、疲労などの評価を行うシステム開発が欠かせない。

本論文では、まず、バイオメカニクス的なスキーターンの解析を行い、下肢の運動と加重との関係を明らかにする。これは、画像を用いた技術分析と比べ、運動の解析時間を短くすることができる方法論も同時に提案するものである。次にスキー技能の評価を定性的に行うためのストロボ画像合成方法の開発について紹介し、ターンのフォームの理解、スキー指導に役立つかを検討する。さ

らに、生体信号による運動機能の評価をリアルタイムでスキーヤーにフィードバックするために開発した計測・評価システムを示す。そして、それによって運動機能の評価するためのパラメータに関してどのようなアプローチが有効であるかを検討し、最後に、ほぼ左右対称で周期的に行われているというスキー特有の運動形態を利用し、表面筋電図解析から筋疲労を評価する方法を提案する。

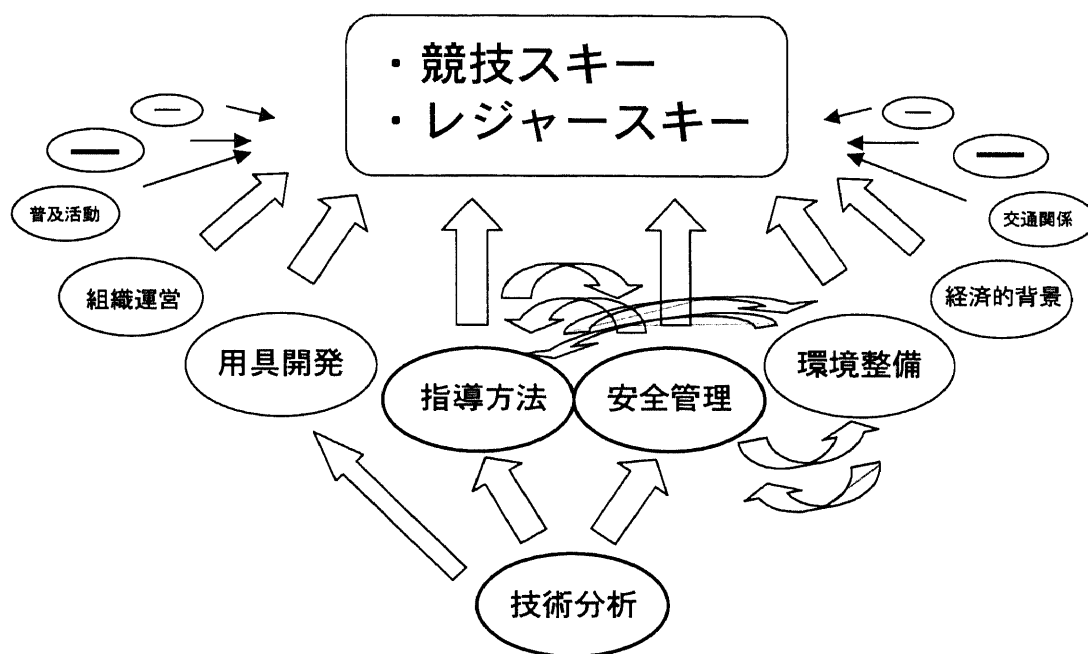


図1-2 スキーをサポートする要素の概念図

1-2 本論文の構成

本論文の構成を図1-3に示す。本論文では、スキーをサポートする技術分析、指導方法および生体に及ぼす影響、主に安全性を考慮するために必要な疲労評価についての研究実践について検討している。

第2章では、スキーの技術分析方法について、下肢の運動と足底圧力の変化から技術分析が可能であるかを探っている。これによって下肢の屈伸運動パターンと加重の関係を明らかにし、ターン動作時にスキーヤーに加わる内・外力の変化を推定する。

第3章では、スキーの指導方法に関して、従来の方法とは違った画像処理による指導方法の提案を行い、スキーヤーの持つ自己のターンイメージと実際のイメージのギャップを埋めることに役立つかを検討する。また、技能向上、安全確保のための指導方法において従来の映像を用いたものとの比較も行う。

第4章では、スキー場において実際にスキー運動を行いながら必要な生体信号のサンプリングを行う手法と、その結果をスキーヤーにフィードバックする方法の検討を行う。これは、第5章、第6章において述べる生体信号の計測とそれを用いた疲労評価を行う際に用いるもので、室内における実験とは異なる環境で、しかも実際のスポーツ現場において用いることができるよう、実用化に近いシステムの開発を行っている。

第5章では、スキー運動時の疲労を評価するためのパラメータとしてどのような生体情報が有効であるかについて検討する。計測する生体信号は心拍数と表面筋電図とし、これらに信号処理を行って疲労評価の可能性を探る。

第6章では、第5章で検討した結果を用い、表面筋電図を用いたスキー運動時の筋疲労評価方法について言及する。この際に第2章で明らかとなったスキーヤーの下肢運動パターンと加重との関係から筋電図の区間選択をターン毎に行うことで筋疲労の特徴を明確にしようとするものである。

第7章では、スキーの普及・発展において、これらの結果がどのような位置づけとなり、活用することができるかという結論を示し、具体的に現場で実用化するための課題を検討する。

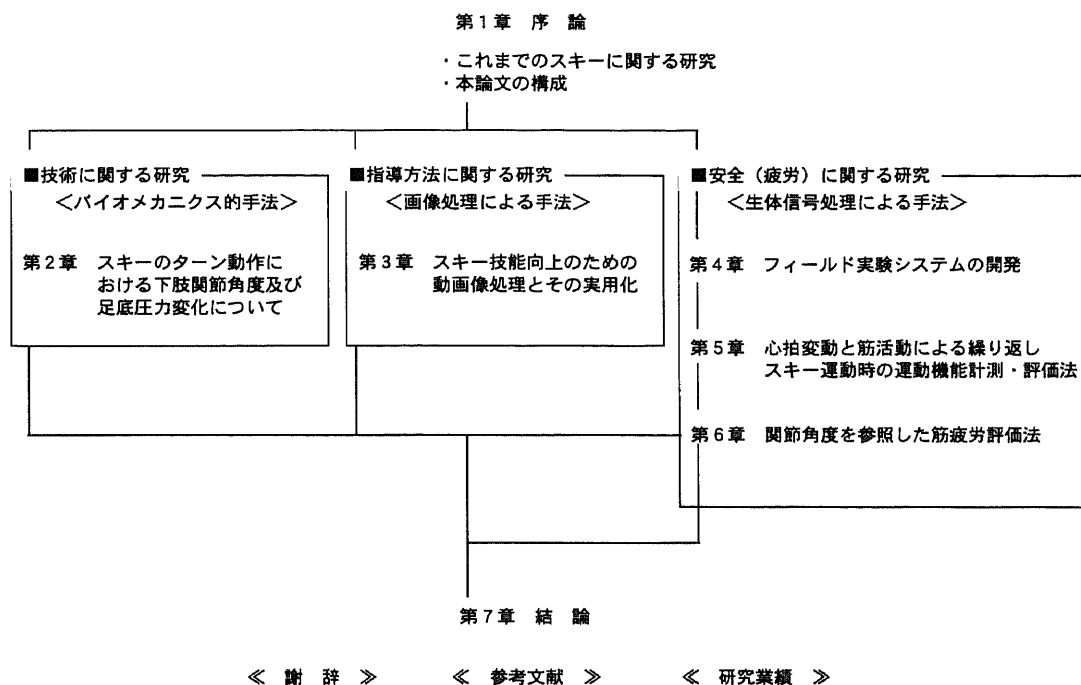


図1－3 本論文の構成

第2章 スキーのターン動作における 下肢関節角度及び足底圧力変化について

2 スキーのターン動作における下肢関節角度及び足底圧力変化について

本章は、スキーの技術分析に関して重要であると考えられる下肢の運動を、股関節および膝関節角度の変化と足底圧の分布から評価する方法論について検討を試みたものである。

2-1 はじめに

スキーのターン動作に関する報告は現在まで数多くなされている。その多くは画像分析である[6,7]。これはスキーの特性として1ターンをするにも長い距離を移動するために測定装置を接続することが困難であるためであると考えられる。また、筋電図を用いたものやスキーにかかる荷重を測定するために、スキー板にストレンゲージを貼付したものもある[21-25]。しかし、これらも有線で行うために限られた区間についてのみの測定であるか、携帯型のデータレコーダを用いるためにチャンネル数が限られ、センサの数を多くすることが出来ないものであると思われる。

スキー技術进行分析の際に映像が用いられてきているが、高速度カメラなどを使用し、3次的に解析するには多大な時間と労力を要する。また、下肢の軸回りの回旋量を解析することは困難である。一方、ターン動作の解析において運動と共に重要な圧力を測定した研究例が報告されているが、この様な場合にはロードセルの形状や大きさによってその設置位置と個数が制約されるなど、十分な測定結果が得られているとは思われない[21,22]。特に、スキー技術指導やスキーヤーに加わる力を推定して身体への負荷を評価するためには、スキーターンの解析は運動と力の双方からのアプローチが必要で、測定・解析が短時間であることが必要である。しかし、下肢関節運動と足底圧力を同時に測定し

たものは見られない。

そこで、本研究ではラップトップコンピュータを用い、測定装置を被験者と同時に移動させることによりデータを収集することを試みた。

アルペンスキーのターンには様々な方法がある。本研究ではそのうちのパラレルターンについて検討を行うこととした。パラレルターンにもストレッチング動作をターンの切り替えのきっかけとするもの、ベンディング動作をターンの切り替えのきっかけとするもの、膝の屈伸をあまり使わず、下腿の倒し込みによってエッジの切り替えを行うものなどがある。

本研究では、パラレルターンのうちこの3種類について、6自由度ゴニオメータ、感圧ゴムセンサを用いることにより下肢関節角度および足底圧力の測定を行った[26,27]。そしてこれらにより、ターン動作の違いによる下肢関節角度変化、足底圧分布のパターンについて考察を行った。

2-2 方 法

被験者はスキー歴30年の男子とした。(48歳, 身長168cm, 体重74kg, スキー技能SAJ1級以上)

実験は、1992年3月12日、新潟県新発田市ニノックススキー場で行った。実験を行った斜面は、約50mの間、斜度が約13度程度で一定であると思われるところを選んだ。

試技はすべてパラレルターンに分類されるもので、「ストレッチング動作」によるもの、「ベンディング動作」によるもの、膝関節の屈伸が少ない「エッジ操作」によるものの3種類について行った。

下肢の関節角度を測定するためにゴニオメータを用いた。このゴニオメータはポテンショメータを用いた自作のもので、6自由度を持つものである。図2-1にゴニオメータの写真を示す。取り付けた個所はすべて左脚であり、腰部

—大腿部，大腿部—下腿部，腰部，ビンディング部の3カ所とした。（図2-2）

また，同時にスキーブーツ内部の足裏の圧力分布を調べるために，圧力によって電気抵抗が変化するゴムに電極を取り付けて圧力センサとし，それらを被験者の左足裏の14カ所に貼付した．このセンサは0.9 mm と非常に薄く，柔軟性に富むために真意の一に設置可能であり，かつ経時的に測定が行える利点を有する．図2-3に貼付した位置と圧力センサの概略を示す．

ゴニオメータ，圧力センサのデータは合計32チャンネルであり，A/D 変換ボードを介してラップトップコンピュータに取り込んだ．その際のサンプリングタイムは50 ms とし，10秒間連続測定した．

測定は，被験者が滑走する後に続いて，センサからの信号を取り込むためのラップトップコンピュータを抱えた験者が滑走し，さらにラップトップコンピュータとセンサに電源を供給するための装置を搭載したそりを曳く験者が滑走するという方法で行った．（図2-4）

そして，これらのセンサからのデータを実際の動作と対比させるために，測定状況のビデオ撮影を行い，測定データと実際のターン動作の対応を確認した．

2-3 結果および考察

「ストレッチング動作」によるターン，「ビンディング動作」によるターン，「エッジ操作」によるターンのそれぞれの連続写真を図2-5，2-7，2-9に，股関節，膝関節角度および足底圧の経時的变化を図2-6，2-8，2-10に示す．図2-6，2-8，2-10の上段が股関節の角度，中段が膝関節角度，下段が足底圧である．図2-5，2-7，2-9中のA，B，C，Dがそれぞれ図2-6，2-8，2-10のA，B，C，Dの時点の姿勢である．

「ストレッチング動作」によるターンに関して、図2-6中のAは左ターン中における膝関節角度最大屈曲時である。この際に、上体の姿勢を保持するために、股関節も同時に最大屈曲角を示している。また、外反角も最大となっている。足底圧は母指球に加わっている。

Bは膝関節最大伸展時であり、この時点ではスキーはまだフォールラインに向いていない。この時点では母指球を中心としたその周辺で足底圧が大きく加わっている。

Cは右ターン中における膝関節最大屈曲時であり、この直前から踵の方に足底圧が加わってきている。

Dは左リターンにおける膝関節最大伸展時であり、この時点の直前まで踵に足底圧が加わっている。

「ベンディング動作」によるターンに関しては、図2-8中のAの時点が膝関節および股関節の最大伸展時である。この時に踵後方に加わる圧力が最大となっている。この時点から膝関節、股関節を伸展させながら、C点の膝関節最大伸展時に至るが、その間に踵から母指球に荷重点が移動している。さらに、D点の股関節最大屈曲に至る際にはまだ踵に加重されている。

「ストレッチング動作」によるターンと比較すると、左右のターンについて、「ストレッチング動作」では膝関節角度、股関節角度は非対称的であり、荷重も片足に加わっている傾向がある。それに対して、「ベンディング動作」によるターンは左右どちらのターンでも対照的な膝関節、股関節の屈曲伸展であり、足底圧力の加わり方も対照的である。これらのことから、「ストレッチング動作」によるターンは交互操作的であり、「ベンディング動作」によるターンは同時操作的であると考えられる。

「エッジ操作」によるターンに関しては、図2-10に示すように右1ター

ンの間に一周期の膝関節、股関節の屈曲伸展が若干見られる。B の時点では母指球および親指外側に荷重が加わっている。C の時点では母指球に加重され、C から D の時点にかけて、わずかに踵に荷重点が移動している。この試技も交互操作的であり、フォールラインに向いた時に足底の圧力が一時減少していることがわかる。

「ストレッチング動作」と「ベンディング動作」によるターンを比較すると、「ストレッチング動作」によるターンでは、左右のターン動作に伴う膝および股関節角度はともに非対称的であり、足底圧力分布も片足に大きく生じる傾向がある。これに対して、「ベンディング動作」によるターンでは左右いずれのターンにおいても膝および股関節の屈曲伸展運動は対象性を有し、足底圧力分布の変化も同様である。以上から、「ストレッチング動作」によるターンでの下肢運動は交互操作的なものであり、「ベンディング動作」によるターンでの下肢運動は左右同時操作的であると考えられる。

また、「エッジ操作」によるターン動作は、他の2つのターンと比較して、各関節の屈曲角の変化が小さく、下肢の運動は「ストレッチング動作」によるターンと同様に交互操作的なものであるという特徴がわかった。(表2-1)

表2-1 3種類のターンにおける特徴の比較

	関節角度変化	測定圧力分布	下肢の操作
「ストレッチング動作」によるターン	非対称的(大)	片足(外側脚)	交互操作
「ベンディング動作」によるターン	対称的(大)	両足	同時操作
「エッジ操作」によるターン	非対称的(小)	片足(外側脚)	交互操作

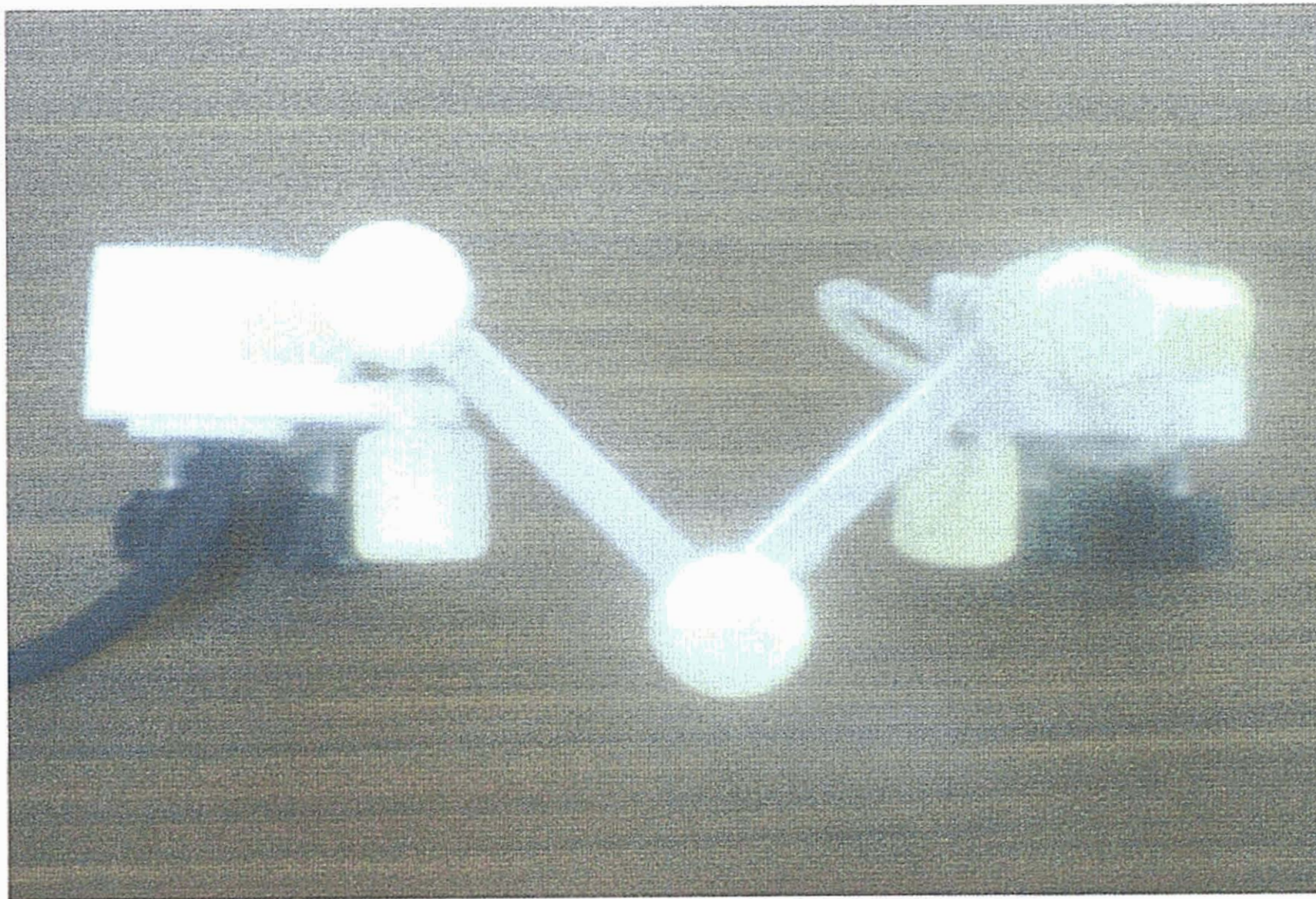


図 2-1 研究に用いた 6 自由度ゴニオメータ

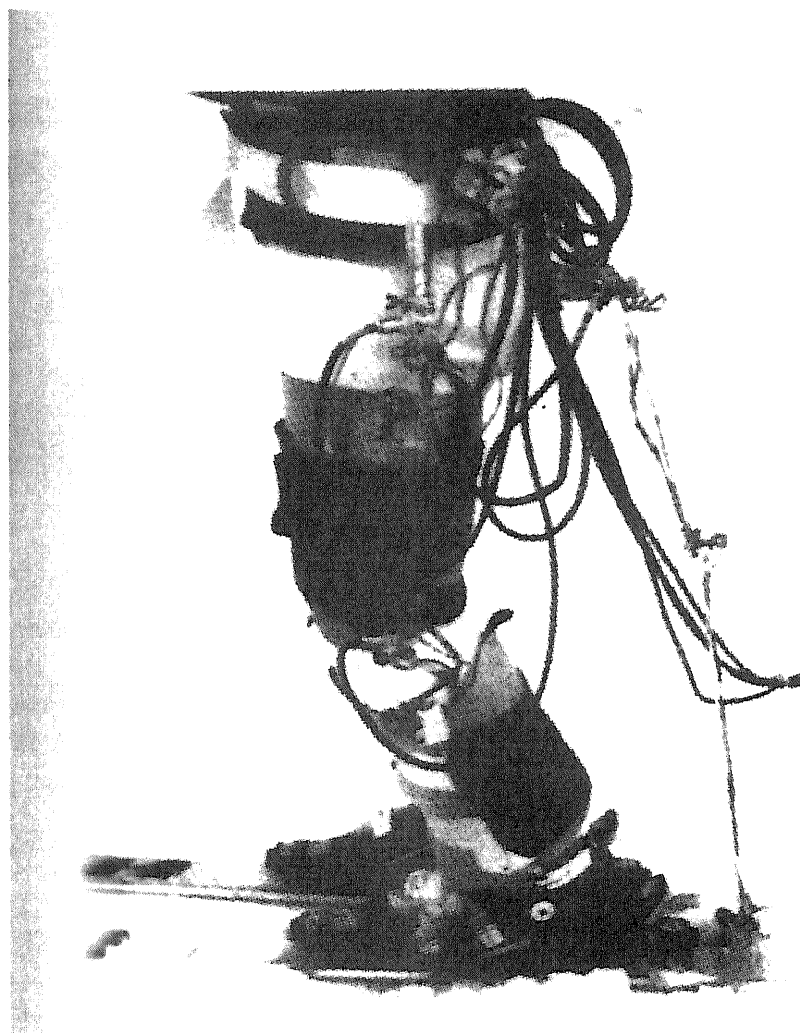


図2-2 ゴニオメータの装着位置

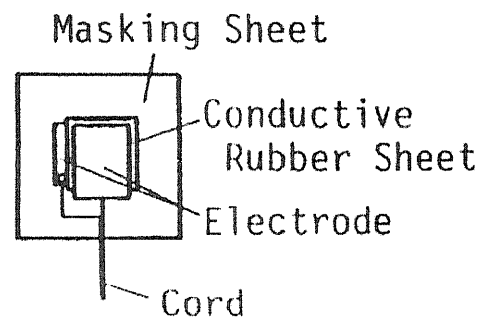
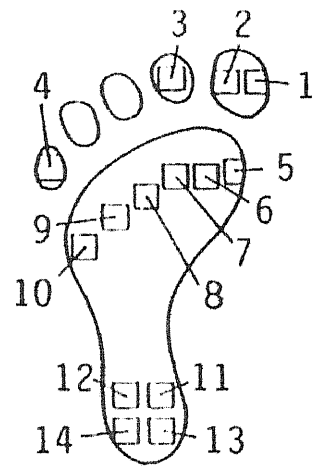


図 2-3 圧力センサの貼付位置および概略



図 2-4 測定の様況

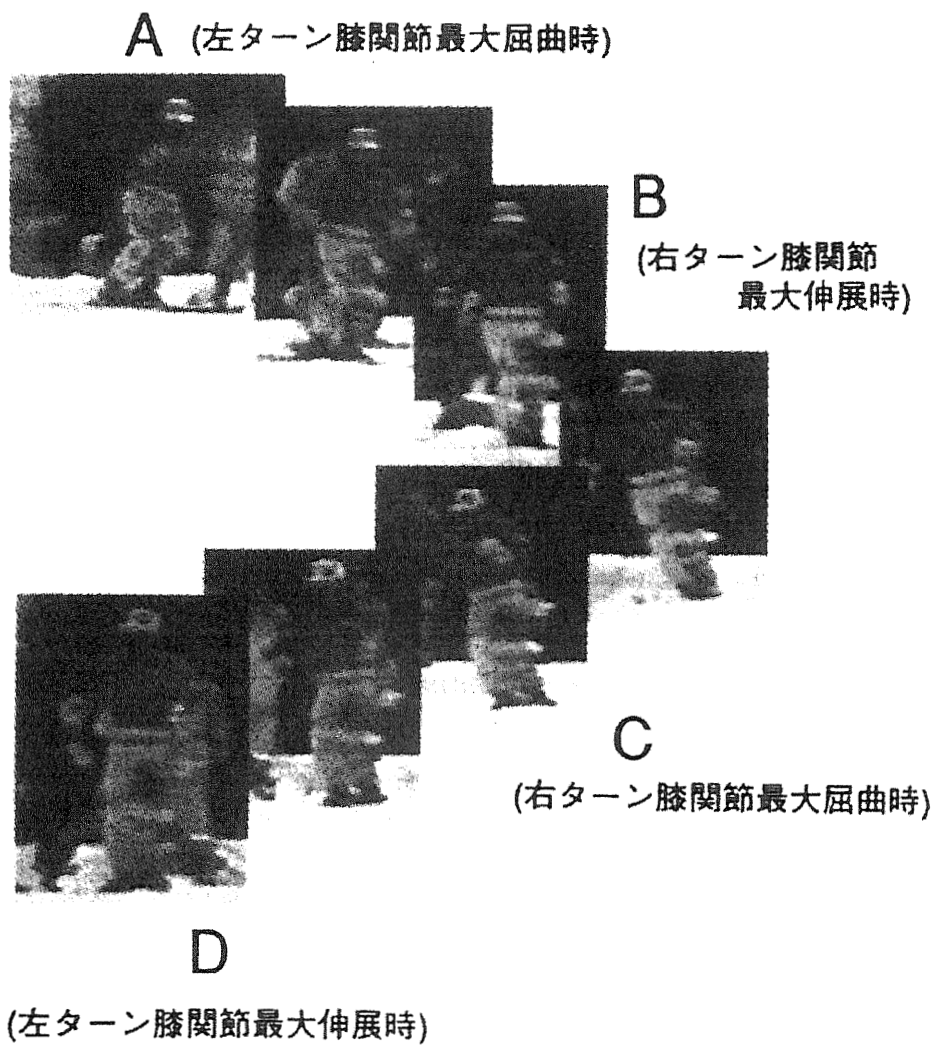
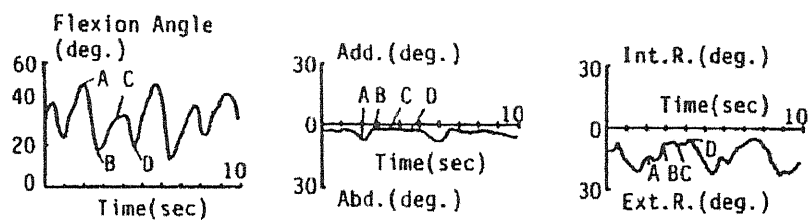
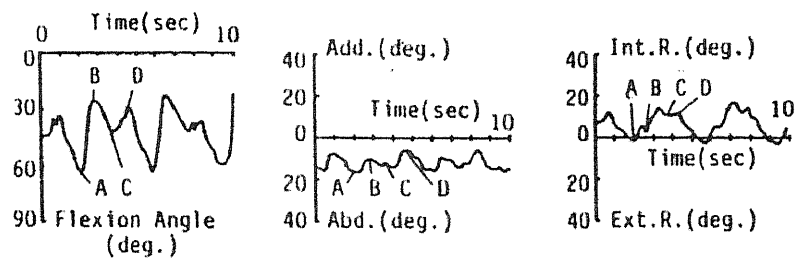


図2-5 「ストレッチング動作」によるターンの連続写真

股関節



膝関節



足底圧

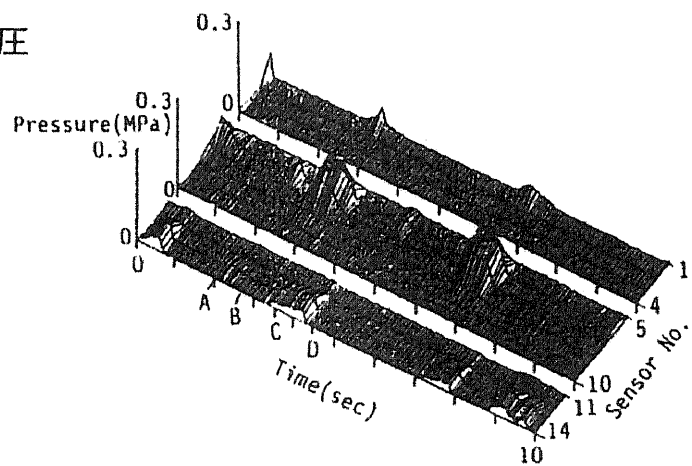


図 2-6 「ストレッチング動作」によるターン時の各関節角度変化
および足底圧変化

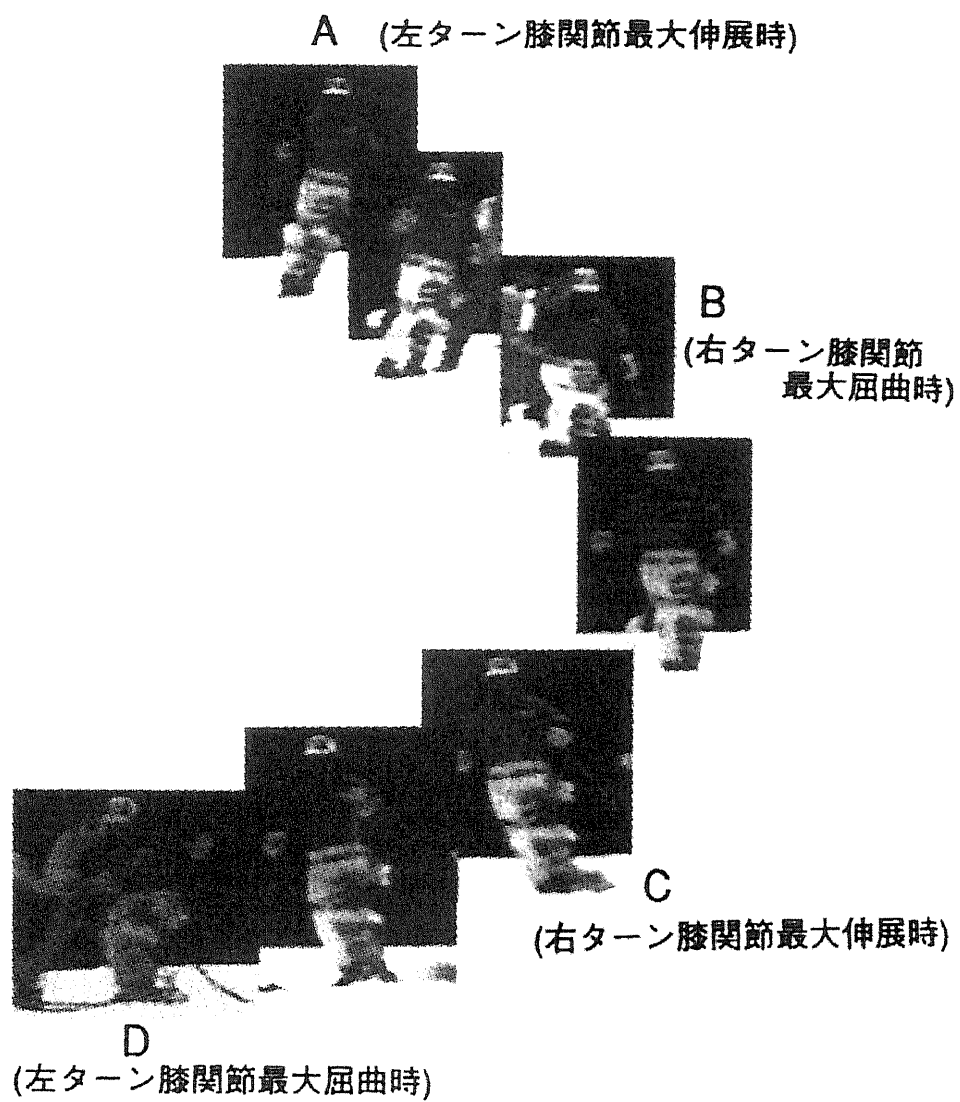
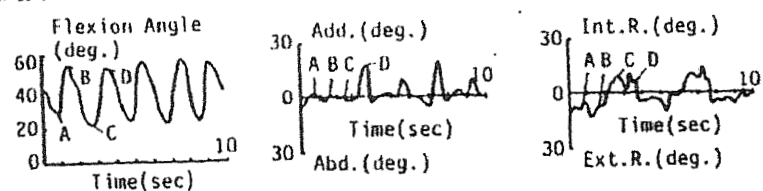
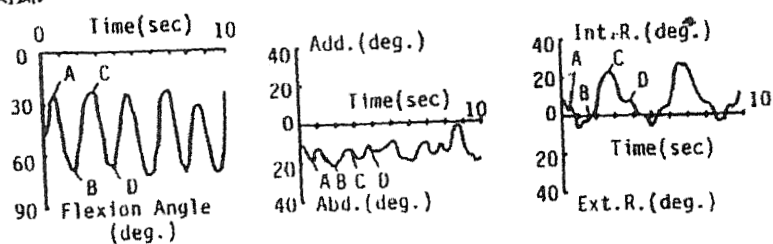


図2-7 「ベンディング動作」によるターンの連続写真

股関節



膝関節



足底圧

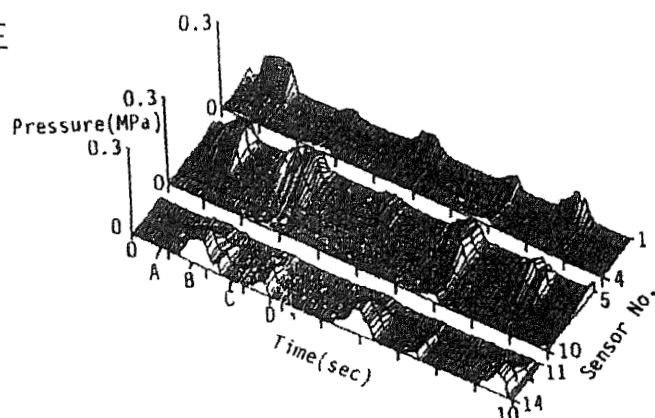


図2-8 「ベンディング動作」によるターン時の各関節角度変化
および足底圧変化

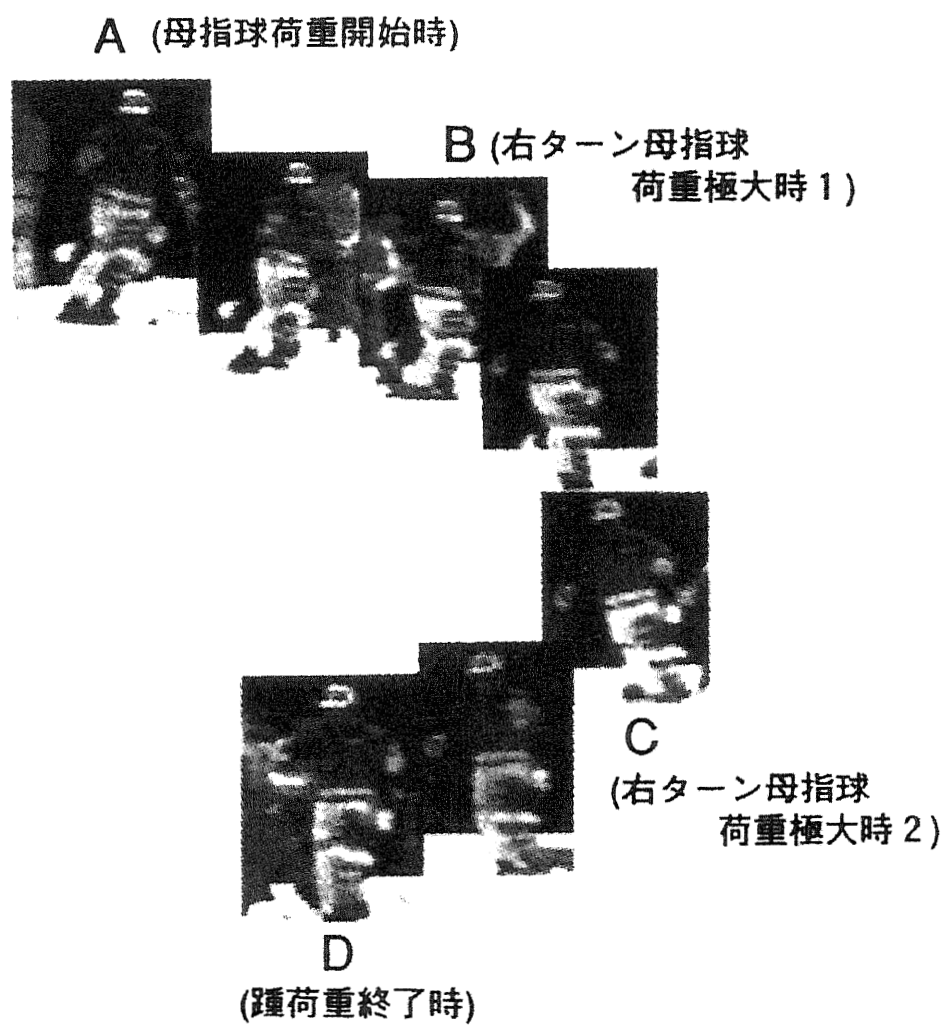
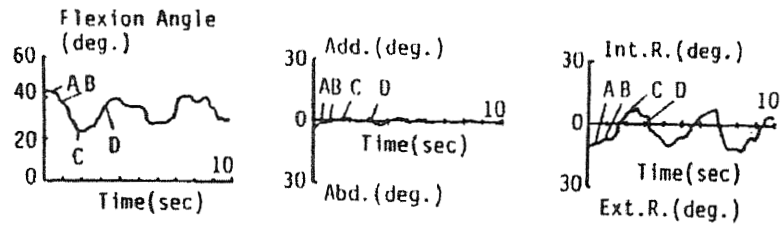
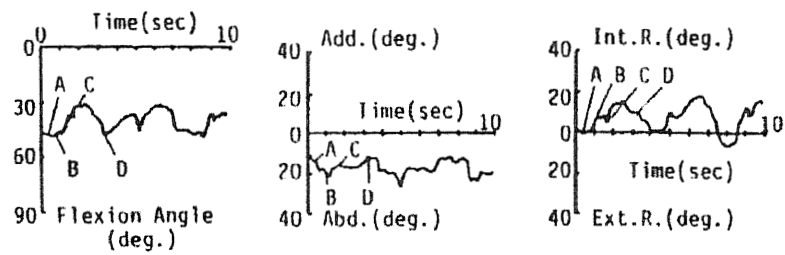


図 2-9 「エッジ操作」によるターンの連続写真

股関節



膝関節



足底圧

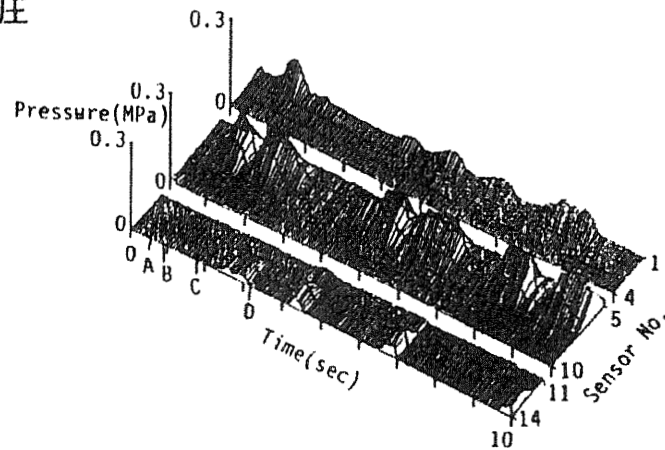


図2-10 「エッジ操作」によるターン時の各関節角度変化
および足底圧変化

2-4 まとめ

本研究では、実際のスキー場面において、下肢関節角度および足底圧を直接測定することを試みた。そのためにポテンショメータを用いたゴニオメータと圧力によって電気抵抗が変化するゴムを用いた圧力センサを使うことにより測定を行った。

またこの方法により、パラレルターンの動作のうち、「ストレッチング動作」によるもの、「ベンディング動作」によるもの、膝関節の屈伸をできるだけ行わないようにした「エッジ操作」によるものの3種類を取り上げ、それらの相違について検討した。

その結果、膝関節角度変化と足底圧の関係が明らかとなった。また、ターン動作の違いによる膝関節角度および足底圧変化パターンの相違の検出が本研究の方法によって可能であることがわかった。

今後、このシステムの小型化により、股関節の屈曲伸展パターンおよび足底圧の経時的変化より、スキー技能の評価システムを構築できる可能性が示唆された。

第3章 スキー技能向上のための 動画像処理とその実用化

3 スキー技能向上のための動画像処理とその実用化

本章では、スキーの技能向上および指導方法に関して動画像処理を用いた新しい手法を提案するものである。

3-1 はじめに

スポーツ技術を分析するために画像を用いる方法は数多くなされてきている。身体運動を解析するバイオメカニクスは従来から行われており、またスキル判定処理[28,29]、チームプレーの情勢判断[30,31]など、ゲーム分析なども行われるようになってきている。

しかし、スポーツ指導現場に直接利用することが可能な研究はまだ少ない。初等教育や大学での体育授業や各種スポーツ団体による合宿、講習会などでは、ビデオ撮影などの映像機器は使われているものの、まだ指導者による直接指導が主であり、動画像を用いての確立された方法はほとんど実施されていないのが現状である。

スポーツスキルの練習や指導において、工藤はスキル獲得を

- (1) 全身協応動作（有る特定の全身の使い方）の発現
- (2) 練習による洗練
- (3) 自動化

という3つのプロセスに分けている[32]。(1)の全身協応動作の発現プロセスにおいて重要なのは、指導者が体の使い方を教え込むことではなく、ある明確な課題を与えて練習者の全身協応動作の発現を待つこと、そして適切な時点に指導言葉を与えること、としている。また、(2)の練習による洗練プロセスでは、指導の名のもとに新しい情報を与えすぎると、その情報に依存してしまい、本来は練習者が行うべき情報処理活動を抑制してしまうため、まずはス

キル遂行に付随する内在的フィードバックは補助的に用いるように注意することとしている。

一方で、画像認識技術は主にコンピュータシステムの知能化が目的であり、スポーツ映像を認識・解析するために高度な情報処理が行われる。スポーツ映像処理システムを使って得られる情報は高度に抽象化されたものが多い。これらを練習者が訓練時に用いた場合、上述のように付加的フィードバックに練習者が依存してしまうという問題をはらんでいる。

そこで本研究では、スキー場において現場で指導者が適切な対面指導を行うことができる情報提示のための動画像処理方法の開発を目指すものである。

球技などのように、対戦する相手や周囲の状況が変化しているスポーツにおいて適切に対応する能力がオープンスキルと呼ばれる一方、器械体操や陸上競技、スキーなどのように練習で会得した動作を本番でも忠実に再現するための能力はクローズドスキルと呼ばれる[32]。後者の中でも基礎スキーは速さを競うわけではなく、どのような状況下においても安定した滑走を行うことができる技術を持っているかが重要視される。しかし、スキーヤー本人が意識して理想的なフォームで滑走しているつもりであっても、実際に滑降した時のフォームには一般的にギャップが大きい。したがって、何らかのかたちでそのギャップを指摘・提示し、スキーヤーにフィードバックすることが技能向上において重要となる。

そのため、現在では滑走中の様子のビデオ撮影を行う、または講習会においてインストラクターやコーチの指導を仰ぐことが行われている。ビデオ映像は動きがよく解る客観的な情報であるが、映像が動いているため、詳細な点を指摘するには不都合な面もある。またゲレンデで撮影を行っているため、その映像を初めてスキーヤー本人が確認するのは練習や講習が終了した後に宿舎に戻ってからになることが多い。さらに講習会や授業などでは、多数のスキーヤーが参加しており、すべての受講者の映像撮影を行い、それに基づいてすべての

受講者に対して指導を行うには長時間を要することになる。このようなことから、練習現場ですぐに技術的な客観的問題点をスキーヤー本人にフィードバックすることが現実的にほとんど不可能な状況である。

射手矢はフィードバックに即時性を欠くと、運動者が短期記憶に保持された肝心の筋感覚が消滅し、フィードバック効果を低減させるおそれがあるとしている[33]。そこで、木村らは、従来のビデオカメラのみではなく、PC を組み合わせて「時間遅れビデオ(DVS : Delayed Video System)」を作っている[34]。これは設定した一定時間の映像を PC のメモリ内に保持し、設定した撮影時間が終わると自動的に PC 画面に再生されるものである。これにより練習者は繰り返し自らの課題を復習しながら練習を行うことができる。このシステムは民生品のビデオカメラとノート型 PC によって構成されており、バッテリー駆動が可能であるため、屋外でも利用可能としている。しかし、スキーは広範囲を移動するという特性があり、一日の滑走の中でビデオカメラの場所を通過する回数がそれほど多くないため、一回の滑走の様子が一瞬で再生し終わってしまい、繰り返し観ることができないというこのシステムはスキー指導に適しているとは言えない。

このようなスキー指導場面においてその場で客観情報のフィードバックを行うために、動画像を処理し、静止面の連続写真（ストロボ画像）として合成した画像を即時に提示するシステムの開発を行い、実際の指導場面での活用を試みた。

3-2 システムの概要

システムの構成は、P Cにビデオ入力カードを挿入し、一般的なビデオカメラとプリンタを接続したものである。P Cには OS として Vine Linux3.1 をインストールし、その上で画像処理プログラムを開発した。

基本的なアルゴリズムは以下の通りである。

合成画像を G 、時刻 t にカメラから得られる画像を I_t とする。また、 $G(x,y)$ と $I_t(x,y)$ はそれぞれの画像の座標 (x,y) での輝度値を表し、 $G^c(x,y)$ と $I_t^c(x,y)$ はそれぞれの画像の座標 (x,y) での色(RGB)を表す。

初期化：

時刻 $t=0$ において

カメラから画像 I_0 を得る

すべての画素 (x,y) において $G^c(x,y)=I_0^c(x,y)$

画像処理ループ：

各時刻 $t=1,2,\dots,M$ において

カメラから画像 I_t を得る

各画素 (x,y) において

If $I_t(x,y) < G(x,y)$ then $G^c(x,y)=I_t^c(x,y)$

印刷処理：

合成画像 G に日付等のデータを描画

G を印刷デーモンに送信

$t=0$ として、初期化に戻る

このアルゴリズムは、ゲレンデで撮影する場合の背景は雪面であり、一面が

白一色であることに着目し、1秒間に30フレームが送られてくるビデオ画像の色の濃い部分を重ね合わせて一枚の画像を合成するというものである。したがって、このプログラムでは色の濃い部分をスキーヤーとして認識することとなる。

その他のハードウェアとして、スキーヤーが一定の個所を通過すると光電管を遮り、自動的に撮影・画像処理を開始するインターフェースも作成した。

開発したプログラムのユーザーインターフェースを図3-1に示す。

初期画面である「撮影」メニューは映像表示の開始、ストロブ撮影の開始という基本的なオペレーションの画面である。そして、スキーの技能レベルにより、どの程度のコマをスキップして画像を重ね合わせるべきかについて選択することができる。スキー技能が高い場合には滑走スピードも速いため、スキップするコマ数を少なくし、重要な局面の画像が抜けないようにし、技能が低い場合には滑走スピードが遅いため、スキップするコマ数を多くすることで、スキーヤー画像のオーバーラップを避けることができる。その他、スキー指導上、説明を行いやすくするため、合成された画像上にグリッドラインを入れることや、決められたコメントを写し込むようにすることが選択できる。

「詳細」メニューは主にスキップするフレーム数と重ね合わせる画像の数を手動で設定を行う画面である。「撮影」メニューに示した画面においてスキップさせるコマ数は3段階で自動的に設定されるが、さらに「フレーム数」の入力欄では、スキップするコマ数を1コマずつ設定することができる。「合計枚数」の入力欄は重ね合わせる画像の枚数を指定する。これも「撮影」メニューに示した画面で自動的に設定されるが、マニュアルで指定することができる。従って、

$$\text{撮影時間(s)} = \text{「フレーム数」} \times \text{「合計枚数」} / 30$$

となる。

また[USB 設定]は光電管を用いて自動的に撮影・画像処理を開始するためのインターフェースを使用する際に設定するためのものである。

「入力・保存」メニューは画像入力デバイス、入力信号の種類を選択し、また、合成した画像を保存するためのディレクトリを指定する。画像を保存するためのディレクトリは特に指定しない場合、自動的に撮影日を表す数値でのディレクトリ名で作成される。画像のファイル名を特に指定しない場合には撮影時刻をファイル名として自動的に作成される。

「印刷」メニューでは「入力・保存」メニューの画面で指定したファイルの印刷を行うことができる。[自動印刷]のチェックボックスをオンにしておくことで、撮影終了直後に自動的に印刷を開始させることができる。その他に、用紙サイズは[A4]、[はがき]、[L 版]、[2L 版]を選択することができ、明度は3段階に、印刷用紙の向きは[縦置き]または[横置き]を指定することができる。

「見本」メニューではあらかじめ準備してある見本となる画像を同時に印刷することができるよう設定するための画面である。見本を複数準備してある場合、そのファイル名を指定することで任意の見本画像を同時に印刷することができる。

図3-2に作成された画像のサンプルを示す。また、見本を同時印刷した場合の画像サンプルを図3-3に示す。

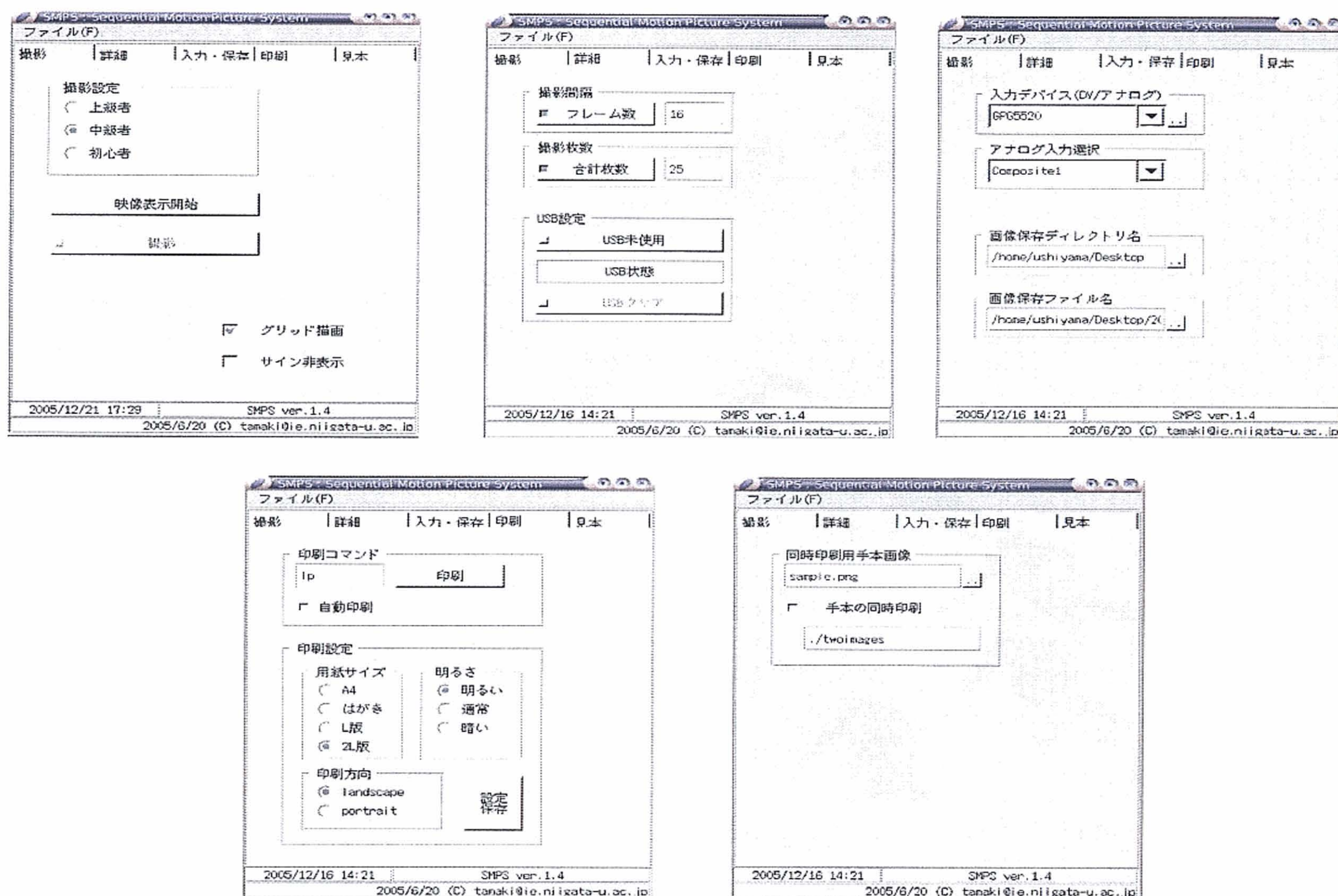


図3-1 本システムの各種設定画面

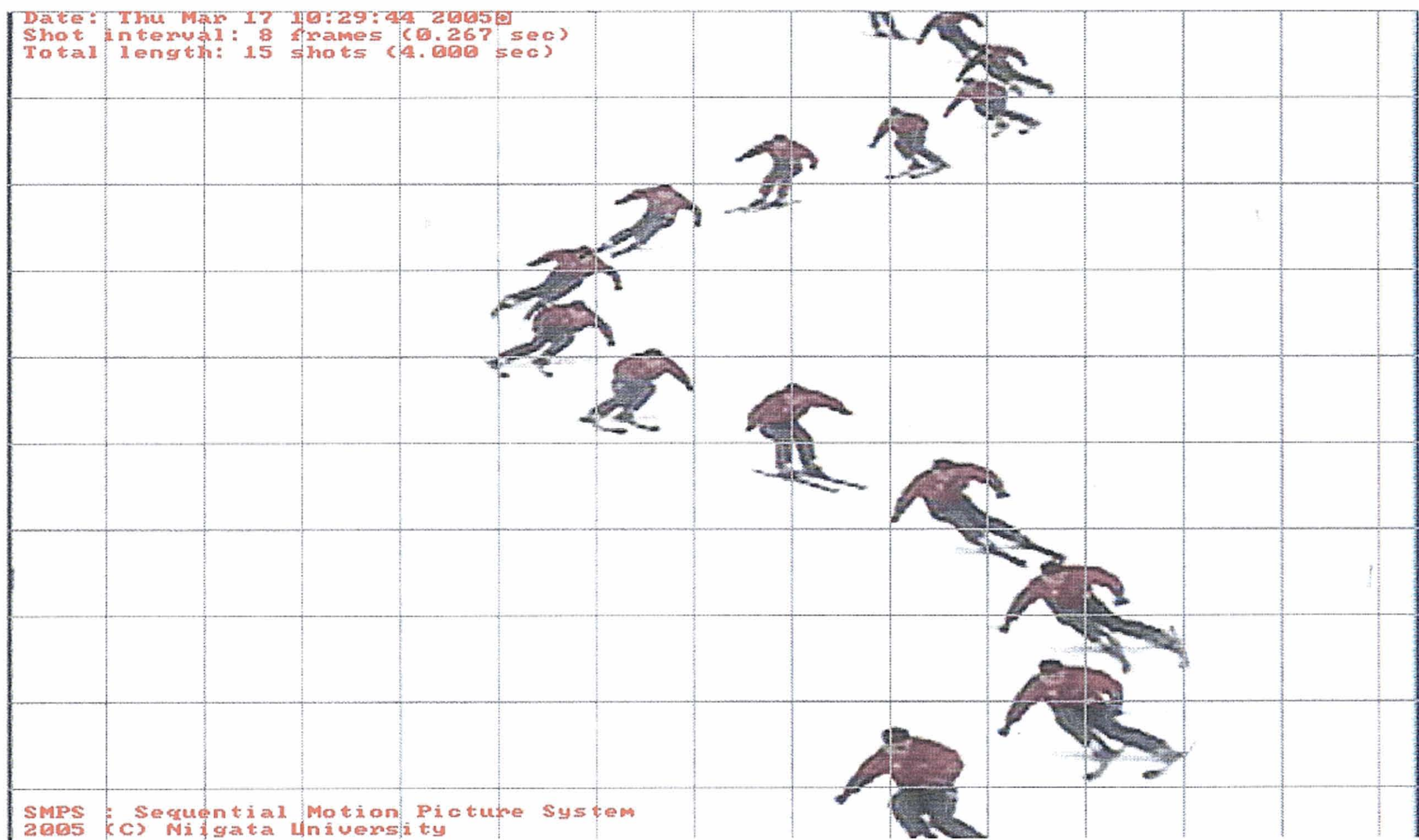


図 3－2 実際に作成された合成画像

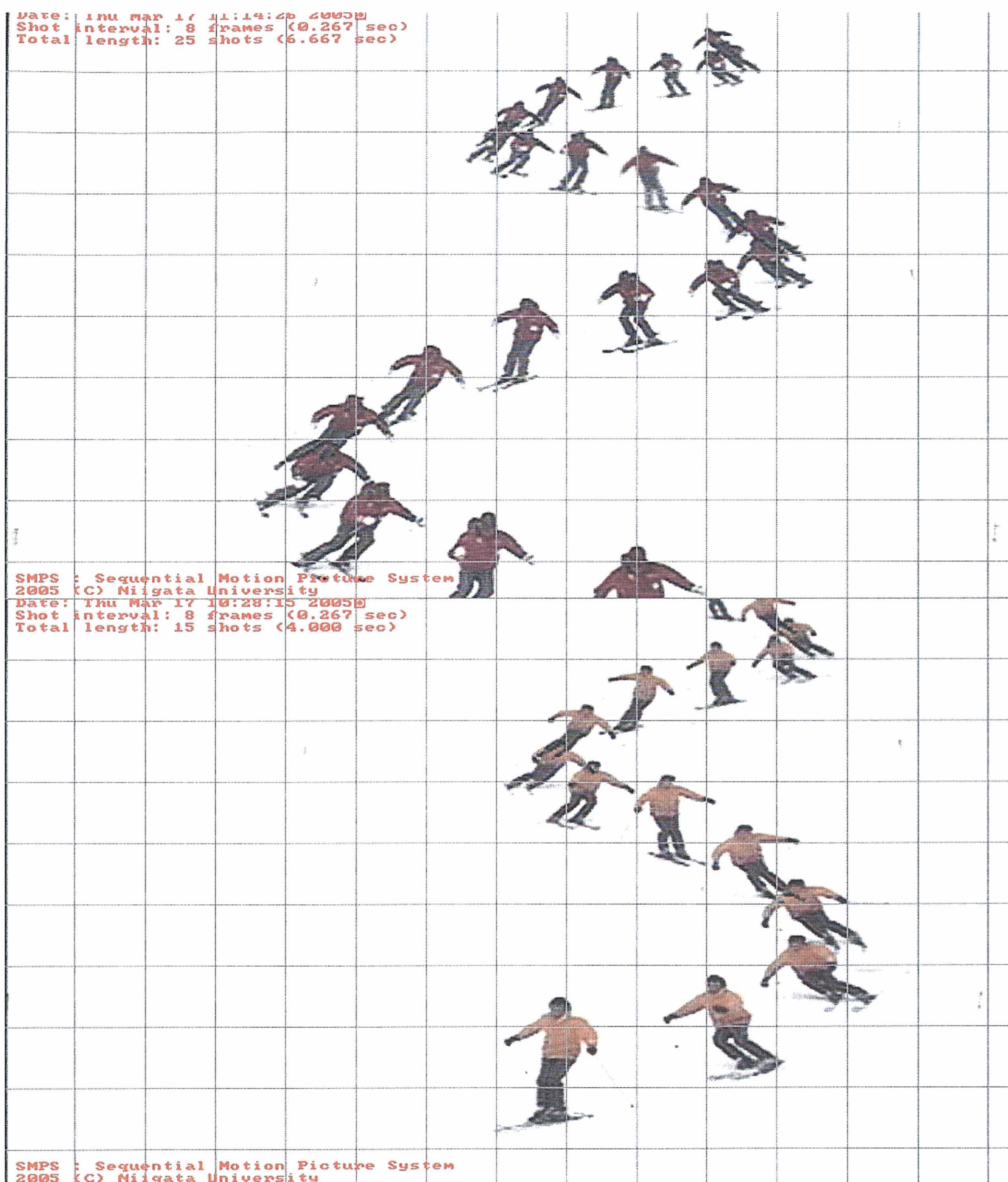


図 3-3 見本と同時印刷した場合の画像

3-3 スキー指導現場における実用

このシステムは、滑走するスキーヤーの映像をビデオカメラで撮影し、スキーヤーの滑走の様子を画像処理し、ストロボ画像として合成した画像を即時に印刷を行って滑走終了後のスキーヤーに配布するものである。

システムを設置した様子を図3-4に示す。

まず、斜面下方より、撮影を行う斜面に向かってビデオカメラを設置する。画郭は必要な情報を得られるように設定すればよいが、少なくとも左右両ターンがフレームに収まるよう設定することが指導上好ましいと言える。ビデオカメラのシャッタースピードは $1/250$ s 程度に設定することで画像の鮮度を保証することができる。これは、仮に時速 30 km で滑走した場合、シャッタースピードを設定せず、毎秒 30 フレームで撮影を行うと、スキーヤーは 1 秒間に約 8.3 m の距離を移動し、1 フレームでは約 0.28 m 進むことになるため、画像がぶれてしまうからである。シャッタースピードを $1/250$ s に設定すると、1 フレーム内のぶれは約 0.033 m にとどめられ、画像の解像度と比較して十分であると考えられる。

撮影は、斜面情報から滑走してくるスキーヤーがフレーム内に入ってから、手動、もしくは自動的に開始し、設定したスキップするコマ数と重ね合わせるコマ数によって決まる撮影時間が終了するまで行われる。撮影が行われている間にプログラム内でストロボ映像を作成し、撮影終了とともに作成された画像の印刷が開始される。印刷速度はプリンタの性能に依存するが、滑走終了後、十数秒でスキーヤー本人に配布する。

このような手順で以下の指導現場において実際に使用した。

■2005 年 2 月 27 日～3 月 3 日

新潟大学教育人間科学部健康スポーツ科学課程専門スキー授業
山形県蔵王スキー場大森ゲレンデ 参加者数約 70 名

■2005 年 3 月 26 日

NORDICA CUP IN AKAKURA

第 8 回アマチュア技術選手権スキー大会 2005 講習会
新潟県妙高市赤倉温泉スキー場京王赤倉チャンピオンゲレンデ
参加者数約 100 名

■2005 年 4 月 23 日～5 月 8 日

2005 年スプリングキャンプ in 赤倉
新潟県妙高市赤倉温泉スキー場ヨーデルゲレンデ
参加者数 1 日平均約 30 名

いずれの場合も図 3-5 に示すように、滑走終了後に作成された画像を印刷、配布して指導者からの指導を受けた。印刷はインクジェットプリンタによって行い、用紙サイズは 2L 版とした。指導のポイントは図 3-6 に示すように、印刷された画像に書き込むなどのことを行い、スキーヤー自身はリフト搭乗時などにそのポイントを確認し、次の滑走に向けてイメージトレーニングを行うことができた。

この様なストロボ画像の作成は従来から行われているケースもある。特にスキー雑誌などでは「つなぎ」または「シークエンス」と呼ばれており、30 年ほど前から滑り方の解説に使用されている。現在では、プロのカメラマンが 500～800 万画素のデジタルカメラで撮影した画像を、熟練した編集者が一枚につき数十分程度をかけて、画像編集アプリケーションソフト（主に Adobe Photoshop など）を用いて作成しており、雑誌以外で一般のスキー指導場面に

において作製する機会はほとんどない。動画像の中でストロボ画像を合成する商用ソフトウェアも存在するが[35]、本システムのように印刷物として提示することができないため、多数の受講者にその場でフィードバックすることはできない。

本システムは、撮影、画像処理、印刷、配布までの一連の流れをその場で行い、静止画像の利点を活かして多数の受講者に技能向上のための情報をフィードバックすることが可能である点に有用性があると考えられる。

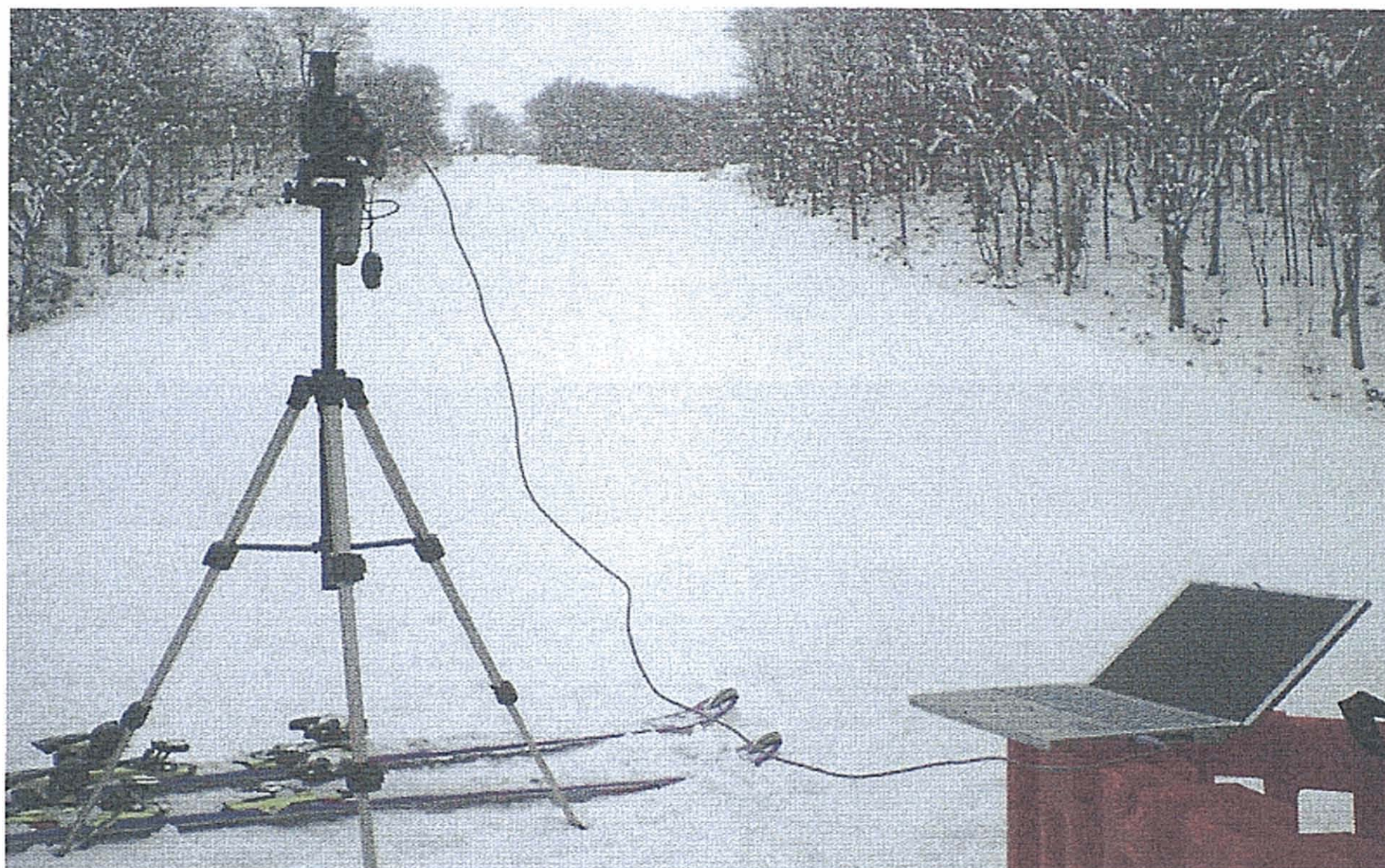


図3-4 本システムを設置した様子



図3-5 作成された画像を元に指導を行っている様子

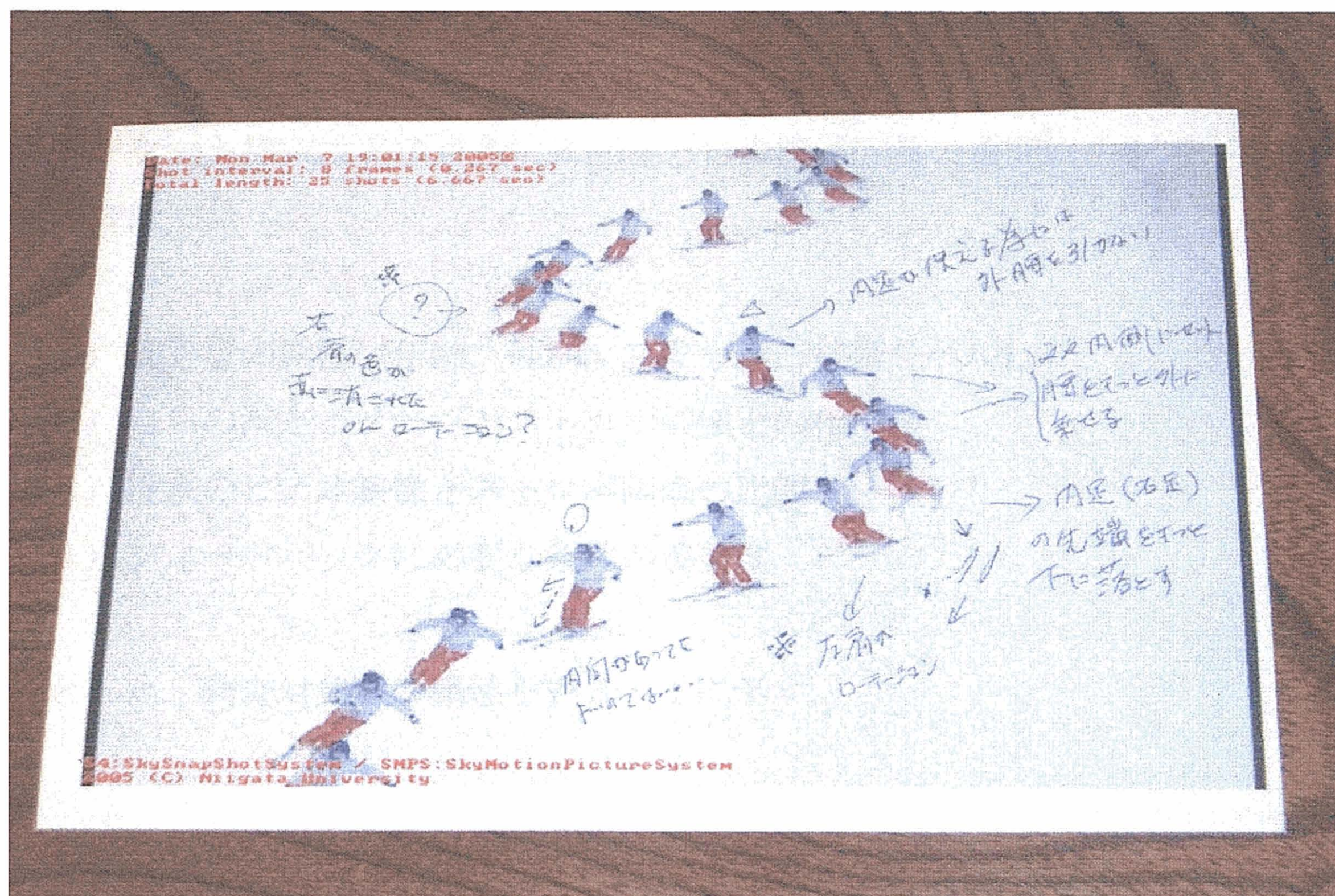


図3-6 指導のポイントが書き込まれた画像の例

3-4 本システムの評価

本システムを評価するために、2005 年 3 月 26 日に赤倉温泉スキー場京王赤倉チャンピオンゲレンデで行われた、NORDICA CUP IN AKAKURA 第 8 回アマチュア技術選手権スキー大会 2005 講習会において、本システムを利用した受講者にアンケートを実施した。

アンケート様式は多項目選択式回答と自由記述回答の質問紙法を用いた。調査内容は、

- (1) 回答者の属性（年齢、性別、スキー歴、技術レベル）
- (2) 自らの滑走イメージとストロボ画像との相違度
- (3) 従来のビデオ映像とストロボ画像の比較
- (4) フィードバックに必要な条件の重要度

とした。調査対象者の属性を表 3-1 に示す。

表 3-1 調査対象者の属性 (N=100)

性別構成率		年代構成率		スキー歴構成率		技能レベル構成率	
性 別	割合 (%)	年 代	割合 (%)	スキー歴 (年)	割合 (%)	技能レベル	割合 (%)
男性	74.0	10代	7.0	1～5	4.0	SAJ 3級	2.0
女性	26.0	20代	11.0	6～10	21.0	SAJ 2級	7.0
無回答	0.0	30代	43.0	11～15	16.0	SAJ 1級	37.0
		40代	19.0	16～20	18.0	SAJ 準指導員	10.0
		50代	12.0	21～25	8.0	SAJ 指導員	17.0
		60代	5.0	26～30	17.0	SAJ テクニカル	13.0
		70代	2.0	31～35	6.0	SAJ クラウン	3.0
		無回答	1.0	36～40	2.0	SAJ デモンストレータ	1.0
				41～45	2.0	無回答・その他	10.0
				46～50	1.0		
				無回答	5.0		
合 計	100.0	合 計	100.0	合 計	100.0	合 計	100.0

調査対象者は合計100名であり、男性が74%、女性が26%であった。年齢は30代が43%と最も多く、スキー歴は6年から20年までで55%を占め、SAJスキー技能検定1級以上の上級者が75%であった。大半が競技会出場者または競技会役員であったため、技能レベルが高い集団であった。

表3－2 自らの滑走イメージとストロボ画像との相違度 (N=100)

技能レベル	(%)						計
	イメージ通り	ややイメージ通り	やや違っていた	違っていた	わからない	無回答	
2級以下	1.0	6.0	4.0	1.0	0.0	0.0	12.0
1級	3.0	11.0	18.0	4.0	0.0	0.0	36.0
準指導員	1.0	4.0	3.0	1.0	0.0	0.0	9.0
指導員以上	3.0	15.0	9.0	7.0	0.0	1.0	35.0
その他	0.0	3.0	3.0	2.0	0.0	0.0	8.0
計	8.0	39.0	37.0	15.0	0.0	1.0	100.0

表3－2に自己の持つ滑走イメージとストロボ画像で観た自分の滑りの相違度を示す。「イメージ通り」、「ややイメージ通り」が47%、「やや違っていた」、「違っていた」が52%であった、自己の感覚と身体運動を一致させることは一般的に困難であるため、「イメージ通り」、「ややイメージ通り」が比較的多かったのは調査対象の集団が上述したように平均的にみて技能レベルが高かったからであると考えられる。

従来のビデオ映像とストロボ画像の比較については、91%の受講者はビデオ映像で自分の滑りを観察したことがあったと回答していたため、これらの受講者を対象に比較を行った。調査対象項目毎に χ^2 検定を施し、いずれの有用性が高いかを検証した。

表3－3に比較対照項目とその割合および検定結果を示す。

表 3-3 従来のビデオ映像とストロボ画像の比較 (N=91)

		(%)							χ^2	有用性
項	目	1	2	3	4	5	6	合計		
自分の滑りの理解	ストロボ画像	56.0	38.0	5.0	0.0	0.0	1.0	100.0	6.86	特に差はない
	ビデオ映像	33.0	44.0	5.0	1.0	0.0	17.0	100.0		
一連の動き	ストロボ画像	63.0	28.0	5.0	1.0	0.0	3.0	100.0	12.36 *	ストロボ画像
	ビデオ映像	37.0	32.0	9.0	5.0	0.0	17.0	100.0		
各関節の動き	ストロボ画像	42.0	41.0	14.0	2.0	0.0	1.0	100.0	15.13 **	ストロボ画像
	ビデオ映像	18.0	36.0	20.0	8.0	1.0	17.0	100.0		
リズム感	ストロボ画像	18.0	38.0	31.0	12.0	0.0	1.0	100.0	27.41 ***	ビデオ映像
	ビデオ映像	34.0	40.0	5.0	4.0	0.0	17.0	100.0		
スピード感	ストロボ画像	10.0	29.0	36.0	20.0	4.0	1.0	100.0	22.78 ***	ビデオ映像
	ビデオ映像	28.0	30.0	16.0	7.0	2.0	17.0	100.0		
他者との比較	ストロボ画像	37.0	37.0	19.0	4.0	1.0	2.0	100.0	11.54 *	ストロボ画像
	ビデオ映像	17.0	36.0	20.0	10.0	0.0	17.0	100.0		
左右ターンの比較	ストロボ画像	54.0	35.0	7.0	3.0	0.0	1.0	100.0	52.56 ***	ストロボ画像
	ビデオ映像	21.0	42.0	11.0	8.0	0.0	18.0	100.0		

1 とてもよくわかる

2 よくわかる

3 どちらとも言えない

4 余りよくわからない

5 全くわからない

6 無回答

* p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

この結果、ビデオ映像と比較した時、一連の動きとして捉えること、各関節動き、他者との比較および左右ターンの比較という項目について、ビデオカメラで見るよりも本システムで得られる画像を見る方が良いという結果が得られた。逆に滑りのリズムやスピード感などはビデオ映像で確認した方が良いという回答が多かった

次に、フィードバックに必要な条件の重要度について、表 3-4 に示す。

表 3-4 フィードバックに必要な条件の重要度

フィードバックの条件							(%)
	大変重要である	重要である	どちらでもない	重要でない	全く重要でない	無回答	計
直ぐに見られる	79.0	18.0	3.0	0.0	0.0	0.0	100.0
いつでも見られる	58.0	38.0	4.0	0.0	0.0	0.0	100.0
繰り返し見られる	61.0	33.0	4.0	1.0	0.0	1.0	100.0
注意点を書き込める	40.0	39.0	17.0	4.0	0.0	0.0	100.0
持ち帰ることができる	73.0	24.0	3.0	0.0	0.0	0.0	100.0
グリッド線がある	26.0	35.0	26.0	7.0	4.0	2.0	100.0

フィードバックに必要な条件は、「直ぐに見られる」こと、「持ち帰ることができる」こと、「繰り返し見られる」こと、「いつでも見られる」ことが 50% 以上において大変重要であるとの回答であった。これらの「大変重要である」とされる条件を満たすには、ビデオ映像を用いる場合において、ビデオカメラを一人のスキーヤーが占有し、携帯しながらスキーを行わなければならないことになり、現実的ではない。従って、この点においてもプリントされたストロボ画像の有用性が示されていると考えられる。

また、この様な講習会では、ビデオカメラで撮影してもその後に指導者から個々に対してコメントをするような時間的余裕はないが、このシステムでは指導者が出力された画像に基づいて技能改善のポイントを示し、その画像に説明を書き入れるなどのことが可能であった。また、指導者がすべての受講者にこの様な指導ができなくても、受講者同士で互いに画像を比較し技能向上に役立っていたことから、本システムの有効性が示されたものと思われる。

そして、数多くの関係者からも本システムの常設の要望やソフトウェアの商品化についての打診があり、関心の高さがうかがわれる。

3-5 まとめ

本章では、スキーを取り巻く様々な要因の中で、特に指導方法について着目し、指導者とスキーヤーに共通認識を持って講習が行える方法を検討した、そのために、動画像を処理することでストロボ画像を合成するシステムを構築し、スキー指導に役立つ指導法を提案した。そして、実際の指導場面に活用することを試みた。

その結果、ハードウェアの構成要素としては PC、ビデオカメラ、ビデオ入力ボード、インクジェットプリンタであり、その他に特殊なものを用いることなく、システムの構築が可能であった。

また、スキーの講習会において一度に多くの受講者に対して、誤解を与える点や曖昧な点を残さずに改善すべき技術的なポイントを伝えることができたと考えられる。そして、本システムを利用した受講者に実施したアンケートからは、動画像からは得られない客観情報が得られたという回答が多く得られた。このアンケートを実施した対象者は、75%が SAJ 技能検定一級以上の上級者であり、技能水準が高いスキーヤーに対しても有効であることが確認された。

本章では、調査対象者が比較的技能水準の高く、初級者、中級者等に対しての詳細な有効性の確認も必要であると考えられるが、このシステムを用いた場合の指導者が適切な評価と指導のためのコメントが可能であれば十分な有効性を示すものと予想される。

そして、デジタル映像のデータ処理はコンピュータによって行い、出来上がった画像からスキー指導のエキスパートが評価を行うという、機械と人間がそれぞれ得意な分野を担当することで、スキー指導現場に直接有効性を示すものであることが考えられた。スキーを行うためにグレンデを訪れるスキーヤーのモチベーションを高めるひとつの要因として、技能向上が挙げられる。このシステムによって、スキー技術を身体の運動機能のひとつと考え、その変化をス

キー指導のエキスパートである人間が定性的にとらえ、即時に評価することで技能向上に役立つと考えられる。そのため、スキーヤーにサービスを提供するゲレンデ設計において、この様なシステムを常設する個所を設けることによって、スキーヤーの満足度を高め、それによってスキー場の集客力を高めることが出来るものと考えられた。

これらのことから、動画像からストロボ画像を作成して即時に提示する本システムを用いることでスキー指導において、指導者と被指導者の間にゲレンデにおいて即時的に共通の理解を得ながら技術の体得が進められるという新しい指導方法を提案することができ、今後の利用方法の応用性も示唆された。

第4章 フィールドにおける生体情報

収集・解析システムの開発

4 フィールドにおける生体情報 収集・解析システムの開発

本章では、第5章、第6章において使用したデータ収集・解析方法について実用化も見据えたシステムの有効性について論究する。

4-1 はじめに

スキーの安全性を考える場合に、ゲレンデ整備など外的な要因とスキーヤー自身に依存する内的要因に分けることができる。この内的要因にはスキーヤーの疲労に関連することが多く、その疲労評価を客観的に行うことにより未然に事故を防ぐことができるようになると考えられる。そのためにスキー場のゲレンデにおいてスキーヤーの生体情報を収集システムが必要となる。

スキーの特性として当然のことであるが屋外において行われるため、天候の影響を受け、また、広範囲を移動するものであることが挙げられる。また、滑走する斜面においては非常に激しい身体活動を伴う場合もある。このような条件下で生体情報の測定、解析を行い、その結果をスキーヤー自身にフィードバックするシステムがなければ、スキーヤーの運動機能変化を評価してオーバーロードによるけがや事故の防止をすることができない。

これらのことから、実験室や室内における安定した状況下での計測装置とは異なり、実際の身体活動の状況下であるフィールドにおける計測、解析が可能となるシステムの開発を行った。

4-2 システム開発の必要性

これまで、アルペンスキーに関する研究は滑走技術をバイオメカニクス的に解析するものが多かった[7,10,37]。特にその方法論として画像解析を行っているものが多く[38]、その運動学的データの分析に長時間を要していた。また、その他にもゴニオメータを用いて下肢の関節角度変化を測定し、同時に足底圧力分布を分析しているものもある[39,40]。これは、画像データを処理するより分析時間を短くすることができ、精度も高い方法である。さらに、画像からは得ることが出来ない、力学的な情報である足底圧分布からの技術分析が可能となっている。しかしながら、いずれも技術評価を目的としており、またその結果をスキーヤーにフィードバックするには分析に時間がかかる欠点がある。

一方、スキーヤー自身の生体機能の変化を探る方法として、心拍数や筋電図を解析した研究が報告されている[41-43]。しかし、心拍数を変動させる内的、外的要因が多いため、筋活動との関連を明らかにすることが難しいとされている。[43]

さらに、室内の整えられた測定環境とは異なるスキーゲレンデにおいて、スキーヤーの運動の妨げとならぬよう、運動機能の変化をリアルタイムでフィードバックすることは、前項で述べているように怪我や事故の防止に欠かすことができない。

そこで、小型化された生体信号計測ユニットを用いた計測装置と、データを解析するためのサポートセンターを無線 LAN で接続し、できるだけ運動の妨げにならない計測と、運動機能の評価結果をフィードバックするシステムの開発が必要である。

4-3 疲労評価を行うための生体信号

疲労には、大まかに分類すると、自律神経系に影響を及ぼす中枢性の疲労と、筋疲労に代表されるような末梢性疲労に分けることができる。

中枢性疲労の指標としては、心拍数の変化が用いられる[44]。従来の報告によれば、それほど疲労していない場合、一定時間の運動後、2～3分で運動前の心拍数に戻るが、疲労している場合、心拍数の戻りが遅くなる。疲労が進行すれば、回復に必要とする酸素の摂取量が多く必要となるためである。これは、筋活動の結果生じた代謝産物を体内で処理し終わるまで酸素を筋に送り込む必要があるからだと考えられている。

一方、末梢性の筋疲労では、疲労に伴い、筋活動電位の低下、伝達速度の低下、筋電図の主要周波数帯域の低域シフト等が知られている[45]。筋疲労に伴う代謝産物の変化を見る研究では、血中の乳酸などの疲労物質の蓄積が報告されている[46]。

また、中枢性疲労と末梢性疲労との関連を調べることにより、全身的な疲労を定義しようとする研究も行われている。たとえば、サイクルエルゴメータによる負荷漸増実験において、筋電図の積分値と心拍数の変化との相互相関特性が直線性を持つことが報告されている[47]。そして、筋活動と心拍の関係においては、運動を始めると、骨格筋の収縮作用による大脳中枢の興奮と、骨格筋収縮にともなう筋紡錘の活動が心臓交感神経の活動を増加させ心拍数を速めようとする。骨格筋の収縮が維持されると筋内で発生する代謝産物が血液を介して心拍動を速めるとも言われている[46,48]。

このようなことから、疲労評価を行うためには、心電図および表面筋電図の計測を行う必要がある。

4-3 フィールドにおける生体信号の計測と フィードバックシステム

スキーゲレンデなどのフィールドにおいて、実際の運動中における生体信号の計測では、被験者が広範囲を移動するため、有線による計測ができず、また、アーチファクトなどのノイズの影響を受けやすい。そして、計測・解析結果を迅速にスキーヤーにフィードバックしなくてはリアルタイムでのコンディショニングを行うことはできない。

これらのことから、まず表面筋電図のノイズを軽減するために電極を選択した。電極はDEM社製で、幅1 cm、電極間隔1 cmの2線アクティブアレイ電極を採用することとした。この電極は、プリアンプ内蔵型で、2線の電極以外の面に両面テープを用いて貼付することができるため、運動による皮膚の振動等によるノイズを軽減させることができる。両面テープで貼付した後にさらに電極とリード線の付着部を含む全体の上部からホルターバンで固定することにより電極自体の振動を防ぐ。また、リード線は運動の妨げとならないような最低限のゆとりを持つよう、スキーウェア内部に配線する。

また、サポートセンターを設置して計測データの受信と解析、さらに解析結果の送信を行わせることとした。

前項で述べた生体信号について疲労を評価するための解析には心電図からR-R間隔を求め、さらにHRV(Heart Rate Variability)を算出し[51]、表面筋電図からは筋電図の振幅値情報である整流化平均値(ARV)と周波数情報である平均周波数(MPF)を算出、そしてその間の相関係数である $\gamma_{ARV-MPF}$ を推定するなどの必要がある[52]。このように、周波数分析を含め、これらの解析を行うには多くの計算資源を必要とするため、計測用のPCでは処理しきれない。従って、解析を専門に行う計算機を設置したサポートセンターの存在が重要と

なる。さらに、将来において、通信回線を用いて各個人の生体情報データベースの構築をしていくことにより、個人差を考慮した生体情報からの運動機能評価が可能になり、より精度の高い、実用性のあるシステムを作ることができると考えられる[54]。

そして、通信回線を用いることにより、診察に必要な情報を付加すれば、遠隔地の医師の診断が可能なシステムに発展させることができる。

以上のことから、本研究では以下に示すような通信回線を用いた生体信号計測・フィードバックシステムを開発した。

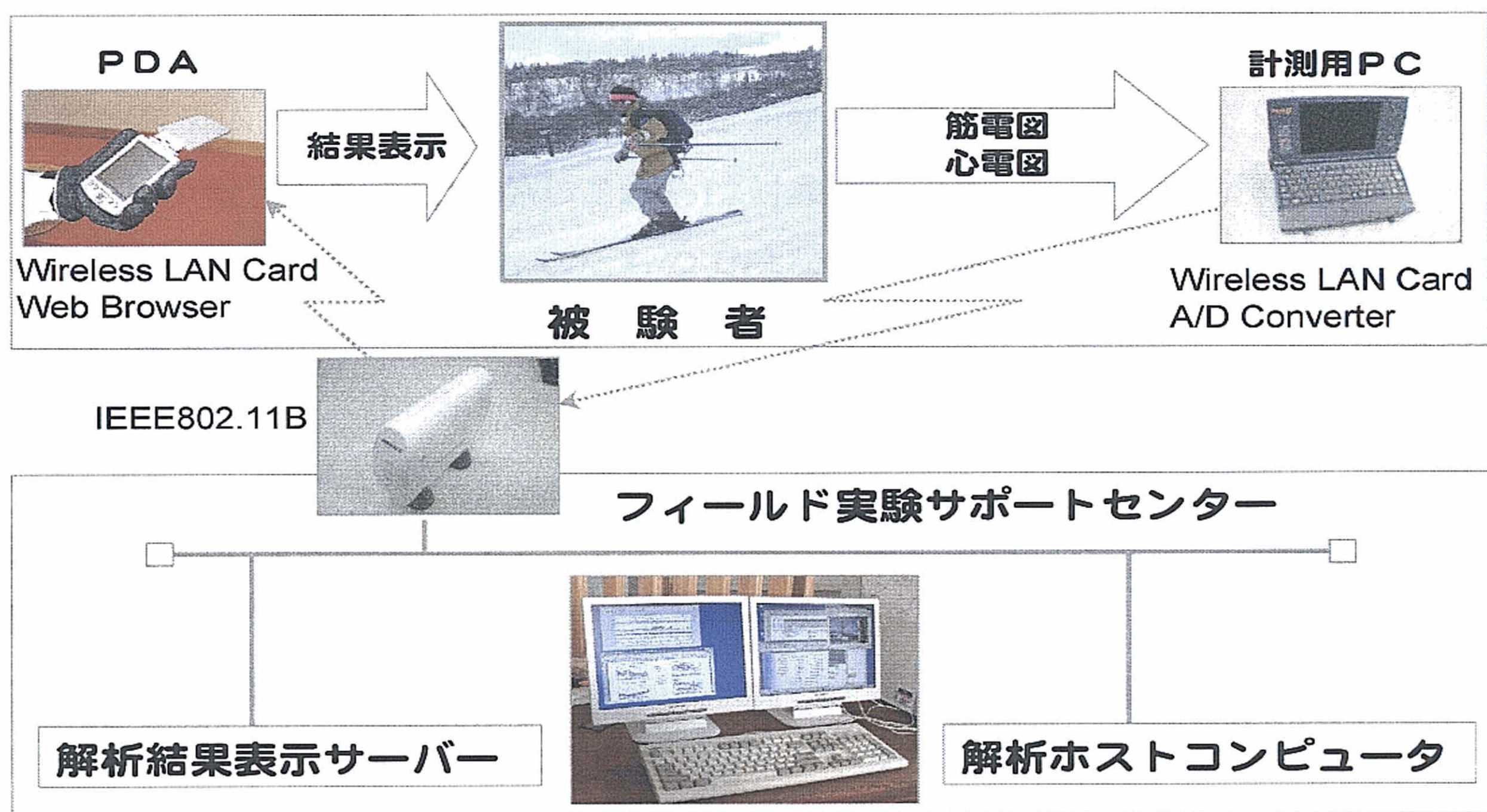


図4-1 生体信号計測・フィードバックシステム（プロトタイプ）

図4-1にスキーゲレンデにおける実験システム構成（プロトタイプ）の概略を示す。この実験システムはスキーヤー（被験者）側の計測・データ記録用PCおよびブラウジング用PDAと支援側の解析用ホストコンピュータおよびサーバーからなる。また、フィールド内での通信回線には無線LAN（IEEE802.11b規格、最大転送速度11Mbps）を使用した。これと似たシステムとしてはWireless Body area Networkを使った心電図などの生体信号モニタリングシステム[52]や生体信号とGPSセンサを備えたジョギング支援システム[53]などの報告がある。しかしこれらは対象者に計測データや解析結果をフィールドバックする事を目的としたものではない。さらに、筋活動を対象としてモニタリングしたものはまだ無い。

被験者が携帯する計測・データ記録装置は出来るだけ目的とする運動の阻害にならないことが必要である。そのため、表面筋電図と心電図データを、小型PCを用いたコンパクトなデータ記録装置を用いて記録した。この装置は外部環境とのデータの送受信が可能な無線LAN内蔵の小型PCとPCMCIAタイプのA/D変換カード(DAQCard-6024E, National Instruments製)、小型の生体情報計測用ユニット(MYO-4, DELSYS製)を用いて構成した。

計測したデータは験者が待機しているサポートセンターに転送され、常時データ内容の確認をすることが出来る。験者は転送されたデータを運動機能評価し、解析結果をウェブ上にアップロードすることで、被験者のPDAで迅速にスキー滑走の結果を閲覧可能とした。スキーヤーが身につける装置の合計重量は約4kgであった。

しかしながら、このプロトタイプでは重さが4kgとはいえ、比較的大きなリュックを背負いながら滑走しなくてはならず、計測機器がスキー運動の妨げにならないとは言えない。

そこで、データ収集用のPCを使わず、外部環境とのデータの送受信が可能

な無線 LAN 内蔵の PDA (iPAQ Pocket PC h5550, HP 製)と PCMCIA タイプの A/D 変換カード(DAQCard-6024E, National Instruments 製), 小型の生体情報計測用ユニット(MYO-4, DELSYS 製)を用いてアドバンスタイプを構成した. 総重量は約 600 グラムとなり, スキーウェアの内ポケットに収まるサイズである.

アドバンスタイプの計測ユニットとそれを用いた実験システムを図 4-2 および図 4-3 に示す.

PDA は 単体での無線通信が可能であり, また, 拡張パック(デュアル PC カード拡張パック, HP 製)と組み合わせて使用することによって, A/D 変換カードを利用することができる.

また, A/D 変換カードによって PDA に計測機能を持たせるために, LabVIEW PDA Module7.0(National Instruments 製)をインストールした. その上, 開発した計測実行プログラムを作成し, PDA に搭載した. このプログラムは計測チャンネル, サンプルング周波数, 計測時間を選ぶことができ, START, STOP をタッチすることにより計測を開始, 終了することが出来る. なお, 計測したデータを無線転送するために, フリーソフトウェアである CedarFTP for Pocket PC (FTP クライアントソフト)を用いた.

これにより, プロトタイプと比べ, 重量が6分の1以下となり, 運動の妨げとなる要因を減じることができた.

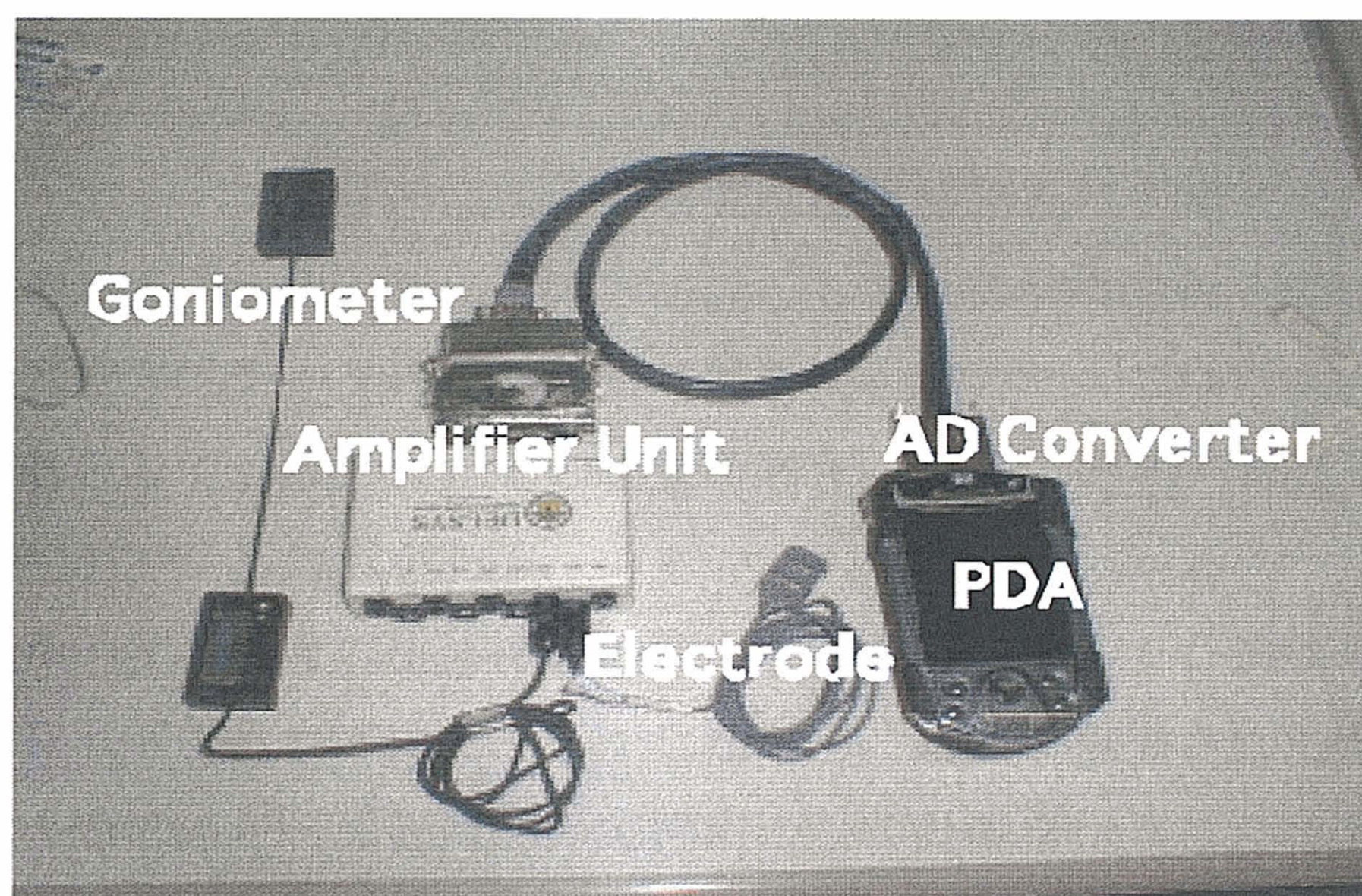


図 4-2 生体信号計測ユニット

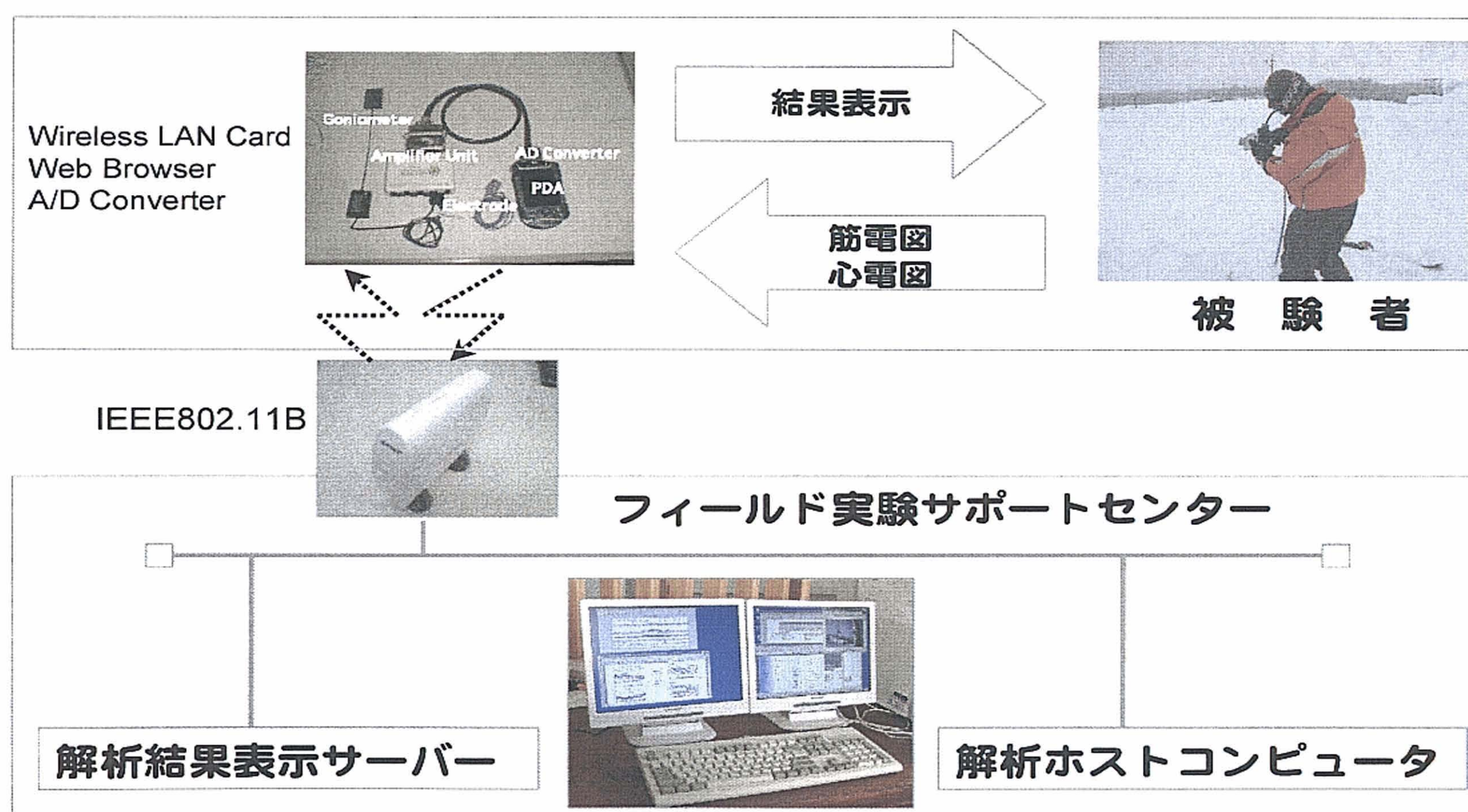


図 4-3 生体信号計測・フィードバックシステム（アドバンスタイプ）

4-5 まとめ

これまで、アルペンスキーに関する研究は滑走技術をバイオメカニク的に解析するものが多かった。特にその方法論として画像解析を行っているものが多く、その運動学的データの分析に長時間を要していた。これらはいずれも技術評価を目的としており、またその結果をスキーヤーにフィードバックするには分析に時間がかかる欠点がある。

一方、スキーヤー自身の生体機能の変化を探る方法として心拍数や筋電図を解析した研究も報告されている。しかしながら、室内の整備された環境とは異なり、また実際のスキー場面において拘束のない計測を行うことは困難とされている。さらに、その解析結果をフィードバックする手段についてはまだ考案されていない。

そこで、本研究では小型化された生体信号計測ユニットを構成し、計測された信号を専門に解析するサポートセンターを設置した。これらは無線 LAN の通信回線で接続され、相互にデータ通信と解析結果のフィードバックを行うシステムの開発を行った。

さらに、生体信号計測ユニットおよび無線 LAN 通信デバイスを PDA のみで行うユニットの構成を行った。これにより、重量で6分の1以下となり、小型化されたことで、スキー運動の妨げとなる要因を減じることができた。

第5章 心拍変動と筋活動による繰り返し

スキー運動時の運動機能計測・評価法

5 心拍変動と筋活動による繰り返し

スキー運動時の運動機能計測・評価法

5-1 はじめに

スキーのような活発な運動を長時間行うと疲労が蓄積し、傷害などを引き起こす可能性が高くなる。これは中枢性疲労による集中力の低下の他に、主に筋肉の疲労など、運動機能が低下することによるものである。この際、運動時における休息の取り方によって疲労の現れ方が異なってくると考えられる[55]。また、運動時に休息を取るタイミングとその長さには個人差がある。ここで、運動中の生体機能の変化を知ることが出来れば、運動機能の低下によるケガなどの傷害を未然に防ぐことが出来る。また、同様に休息が十分であるかどうかについても知ることが出来れば傷害防止がより効果的になる。

しかし、これらの生体機能の変化がどの生体信号に現れるかは個人差があり、絶対値での評価をすることは困難である。また、計測方法は目的とする運動を阻害するものであってはならない。そして、その評価結果についてもその場で迅速にフィードバックしなくてはその意味を持たなくなってしまう。

これまで、スキー運動を客観的に評価する方法として、自律神経系や神経筋系関連の生体信号を計測し、疲労度を解析するアプローチを行っている。さらに、その結果をフィールドで評価し、スキーヤーへ情報をフィードバックする仕組みを開発してきている[56,57]。すなわち、身体運動中を通して出来るだけ身体拘束をなくすように心電図と表面筋電図を計測し、自律神経系の評価項目を R-R 間隔から求められる心拍変動(HRV : Heart Rate Variability)、神経筋系関連の情報を表面筋電図から得られる周波数情報(MPF : Mean Power Frequency)、振幅情報(ARV : Averaged Rectified value)とした。さらに、スキー滑走中の筋活動の詳細な変化を探るため、時間周波数解析を行った。これによって、1日に

わたって運動と休息の繰り返しであるアルペンスキーを対象に、運動機能の評価をどのようなタイミングで評価することが有効であるかについて検討した。

5-2 実験システムの構成

実験システムの構成については4-3に示したとおりである。

5-3 実験・計測方法

実験は、新潟県中頸城郡妙高高原池の平温泉スキー場において、1997年から2002年にかけて冬季に3~4日連続で年間2回行った。実験に用いたコースは全長1364mであり、前半部分が中斜度（最大傾斜約20度）、後半部分が緩斜面（傾斜約7度）になっている（平均斜度約14度）。

被験者は健常な成人男性5名（23±2.1歳）であり、いずれもアルペンスキーの技能は上述斜面において転倒することなく滑走が出来、生涯滑走日数が30日以上の方である。

被験者にはターンのリズムは出来るだけ一定に保つように指示し、結果的に1トライアルあたり約50ターンを行った。この1トライアルは、約10分のリフト搭乗（休息）と約3分のスキー滑走（運動）、それから約2分の停止時間（データ転送等）の約15分からなる。

心電図は胸部双極誘導により導出した。電極は直径3cmのディスポーザブル電極を用い、発汗によるノイズや電極のずれを防ぐために、電極の上からホルターバンを貼付した。心電図計測は増幅度40~54dB、時定数は0.15secとした。また、表面筋電図における被験筋は、スキー滑走時に姿勢を維持するための左右前脛骨筋および重力とターンによる遠心力に抗するための外側広筋とし

た．電極は幅 1cm 電極間隔 1cm の 4 線アクティブアレイ電極(DEM 社製)を用いた．この電極は専用の両面テープにより，神経支配帯を挟んでいないことを確認した位置に貼付した[58]．表面筋電図計測は増幅度 60～74dB，時定数 0.03sec とした．

実験プロトコルを図 5－1 に示す．リフト搭乗時に，搭乗 5 分後から 2～5 分間の心電図を計測した．また，スキー滑走時には 2 分間の心電図及び表面筋電図を計測した[56,57]．

以上の様にしてプロトコルに基づいて心電図 1 チャンネル，表面筋電図 4 チャンネルの生体信号を，サンプリング周波数 5 kHz，量子化ビット数 12 ビットで A/D 変換(National Instruments 製 DAQCard-700)し，PC のハードディスクに記録した．

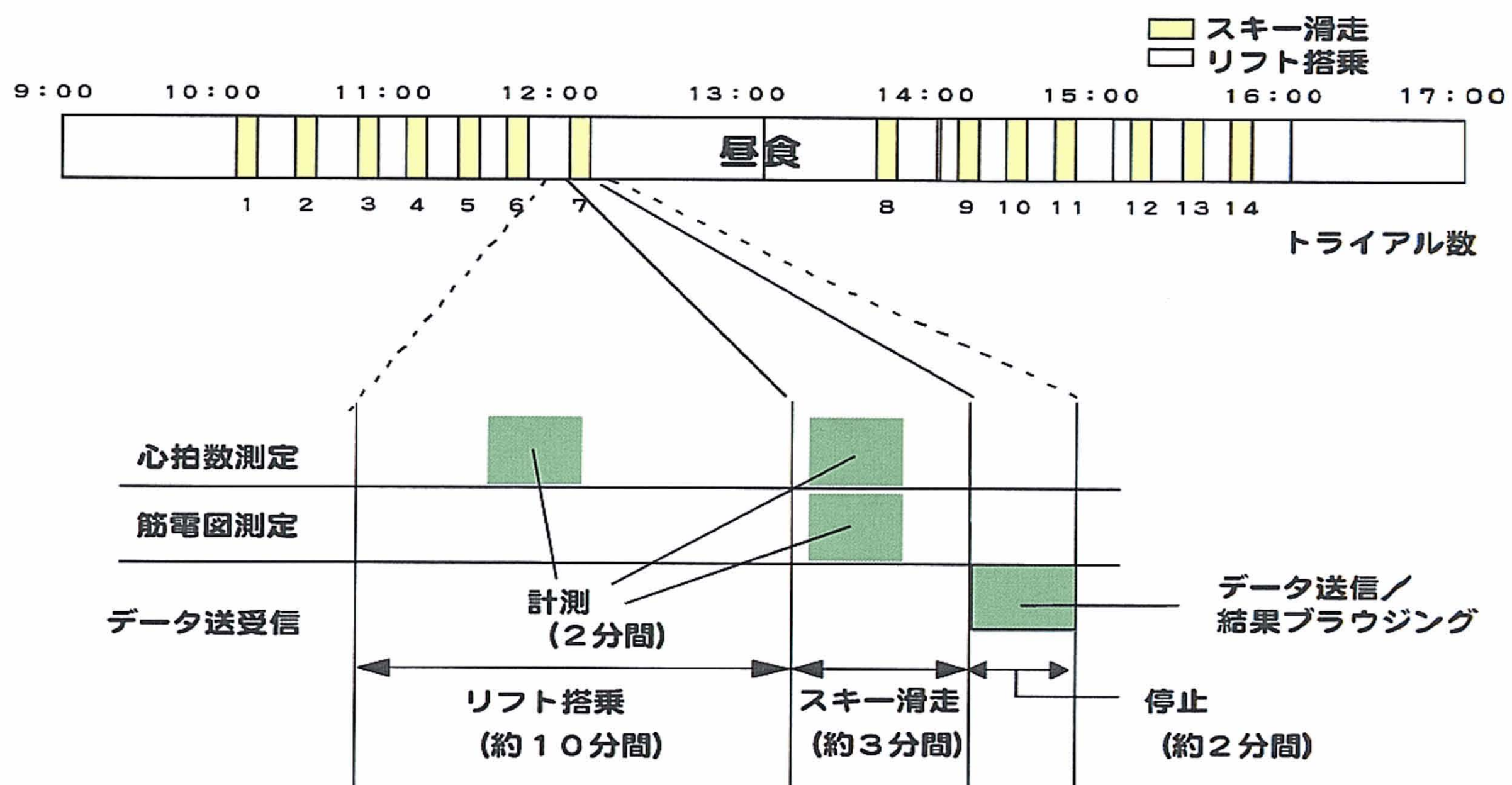


図5-1 本実験のプロトコル

5-4 解析・評価方法

5-4-1 心拍変動 (HRV) のスペクトル解析

心電図から振幅値の閾値により R 波を抽出し、R-R 間隔 (R-R Interval: RRI) を求めた。RRI 時系列には自律神経に影響を受ける周波数帯の成分が振幅変調されている。

本研究ではこの方法により、自律神経系の副交感神経に影響を受ける高周波 (High Frequency : HF) 成分と交感神経・副交感神経の両方に影響を受ける低周波 (Low Frequency : LF) 成分を分離するために連続 Wavelet 変換を施した。この時、HF 成分は 0.15~0.6Hz とし、LF 成分は 0.05~0.15Hz の範囲とした。連続 Wavelet 変換後、HF 成分のピーク周波数 (f_{HF}) とその振幅 (α_{HF}) および LF 成分のピーク周波数 (f_{LF}) とその振幅 (α_{LF}) を抽出した[59-61]。

5-4-2 表面筋電図による筋疲労の推定

スキー滑走運動中の表面筋電図から得られる振幅情報として整流化平均値 (Averaged Rectified Value : ARV) と周波数情報として平均周波数 (Mean Power Frequency : MPF) を求めた。

いま、解析区間長を N とし、 m 番目のセグメントでの表面筋電図時系列を $\{e_m(n)\}$ とすれば、ARV の推定値 $arv(m)$ は、

$$arv(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=(m-1)N+1}^{mN} |e_m(n)| \quad (1)$$

となる。

また、ARV 推定と同じ区間での表面筋電図時系列 $\{e_m(n)\}$ の DFT からパワースペ

クトル $P(m, k)$ を求め、MPFの推定値を算出した。

$$mpf(m) = \frac{\sum_{k=f_L}^{f_H} k \cdot P(m, k)}{\sum_{k=f_L}^{f_H} P(m, k)} \quad (2)$$

ただし、 f_H 及び f_L は $mpf(m)$ を求める帯域での最高周波数と最低周波数を示す。ここでは f_H を200Hz、 f_L を10Hzとして推定した。実際には、0.25秒毎(4Hz)にARV、MPFの時系列を求めた。その上で、筋疲労評価のためARVとMPFの相関係数 $\gamma_{ARV-MPF}$ を10秒間(40サンプル)毎に求め、1サンプルずつシフトさせることで $\gamma_{ARV-MPF}$ の時系列とした[61,62]。

さらに、運動時の筋活動の変化を観察するため、表面筋電図に時間周波数解析のひとつであるWigner-Ville分布を施し、その時間周波数分布を元に瞬時MPF (Instantaneous Mean Power Frequency : IMPF) を算出した[63]。すなわち各時間周波数分布を $TFR(n, f)$ として、IMPF(n)を

$$impf(n) = \frac{\sum_{f=f_L}^{f_H} k \cdot TFR(n, f)}{\sum_{f=f_L}^{f_H} TFR(n, f)} \quad (3)$$

とした。

5-5 結 果

スキー滑走運動におけるRRIは、すべての被験者においてひとつのトライアル中の前半の方が後半より短くなる傾向が見られ、滑走開始から60~80sec付近で最小($0.43 \pm 0.07 \text{sec}$)となった。また、 $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ を見ると、経時的に正と負を示すものと、常に正の値を示しているものがいた。そこで、前者と後者を分類した。前者はトライアルが進むにつれ、RRIが長くなる傾向があるため、グループL（3名）とし、後者はRRIが短くなる傾向があるためグループS（2名）とした。グループLとグループSの統計値を表5-1に示す。トライアル数はグループLで322トライアル（のべ27日）、グループSで246トライアル（のべ21日）である。

グループLのRRIと $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ の経時変化を図5-2に、グループSのRRIと $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ の経時変化を図5-3に示す。1st trialは朝の最初、7th trailは午前中最後、8th trailは午後の最初、14th trailは一日の最後のトライアルとなっている。 $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ の経時変化では、すべての被験者で滑走開始から10,30,60,80,100sec付近のターンで低下する傾向が見られた。より詳細に見てみると、グループLでは、 $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ が負の値を示すことが多く、トライアル数が進むにつれて、滑走中のすべての時間において負を示した。一方、グループSではほとんどのトライアルにおいて、正の値で推移した。

図5-4、図5-6はそれぞれグループL、グループSのひとつのトライアルの特徴を10秒毎の α_{LF} とIMPFのサンプルとして散布図で示したものである。両者ともスキー滑走運動後半（80,100sec）において α_{LF} が増加する特徴があり、トライアルが進むにつれてその傾向が強まっている。しかし、約1時間半の昼食休憩後では、グループLにおいては休憩前と同様な結果を示したのに対し、グループSではスキー滑走時間中を通じて α_{LF} は低い値を示していた。

図5-7にリフト搭乗時の自律神経活動の変化を示す。リフト搭乗時間を2分割し、ひとつのスキー滑走に対して滑走直前のリフト搭乗時での後半の1分、滑

走直後のリフト搭乗時では前半の1分での α_{LF}/α_{HF} の平均値を示した。また、トライアル間の運動機能の変化をみるために、ここでは、1日にわたるスキー運動のうち、1番最初のトライアル（1st トライアル）、昼食直前のトライアル（ラストトライアル午前）、昼食直後のトライアル（1st トライアル午後）、1日を通じて最後のトライアル（ラストトライアル）に着目した。

その結果、グループ S では最初のトライアル、昼食直前のトライアルでスキー運動開始前のリフト搭乗時の α_{LF}/α_{HF} がスキー運動終了後のリフト搭乗時の α_{LF}/α_{HF} より高い値を示した。一方、グループ L ではこの特徴はみられなかった。

図5-7にリフト搭乗時前後半とスキー滑走前後の自律神経活動の変化を示す。各トライアルにおいて、リフト搭乗時の前半から後半で、 α_{LF}/α_{HF} が減少し、スキー滑走時では α_{LF}/α_{HF} は増加していた。また、トライアル数が増加するにつれ、リフト搭乗時とスキー滑走時 α_{LF}/α_{HF} の差が開く傾向にあった。

表5-2に、グループ L の代表的な被験者 KS とグループ S の代表的な被験者 NM に対して、すべてのトライアルを対象に求めた各時刻の IMPF の平均値を示す。被験者 KS では IMPF はすべてのトライアルにおいてスキー滑走運動の後半部（80sec, 100sec）付近で最小の $73.6 \pm 6.3\text{Hz}$, $78.9 \pm 10.1\text{Hz}$ となった。また、トライアルを重ねる毎に周波数帯域が $84.8 \pm 11.6\text{Hz}$ から $74.0 \pm 8.1\text{Hz}$ へと低周波数帯域に集中する傾向がみられた。一方、被験者 NM も運動の後半部である 80sec, 100sec 付近で最小 $118.2 \pm 9.7\text{Hz}$, $121.5 \pm 8.2\text{Hz}$ となり、周波数帯域も $130.9 \pm 8.3\text{Hz}$ から $118.2 \pm 9.7\text{Hz}$ というように低周波数帯域に集中する傾向がみられた。

表 5－1 グループ毎の滑走日数とトライアル数

	Sub.	実験日数	トライアル数
グループL	KS	8	94
	KY	12	133
	IS	7	95
グループS	NM	18	211
	HM	3	35

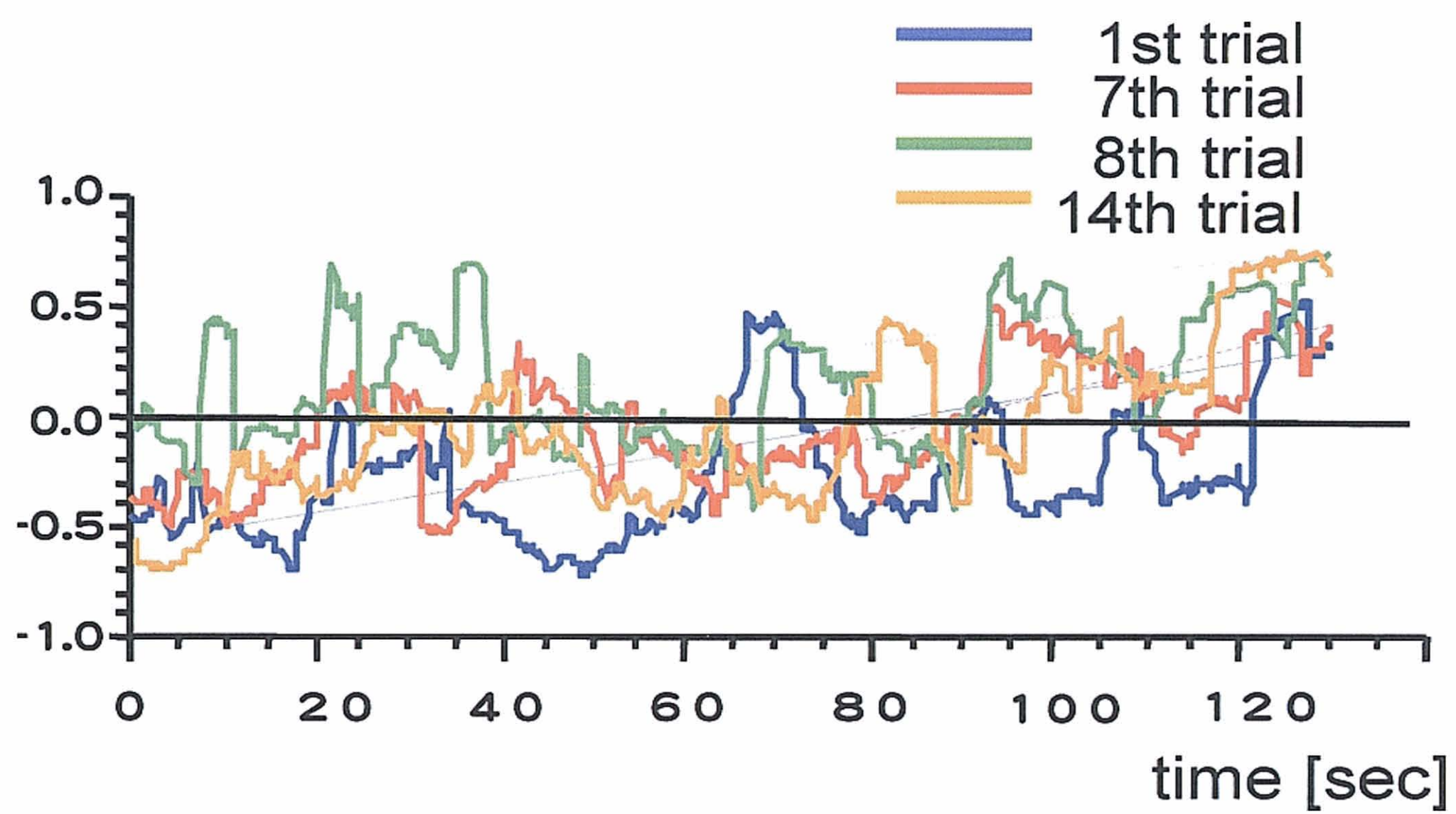
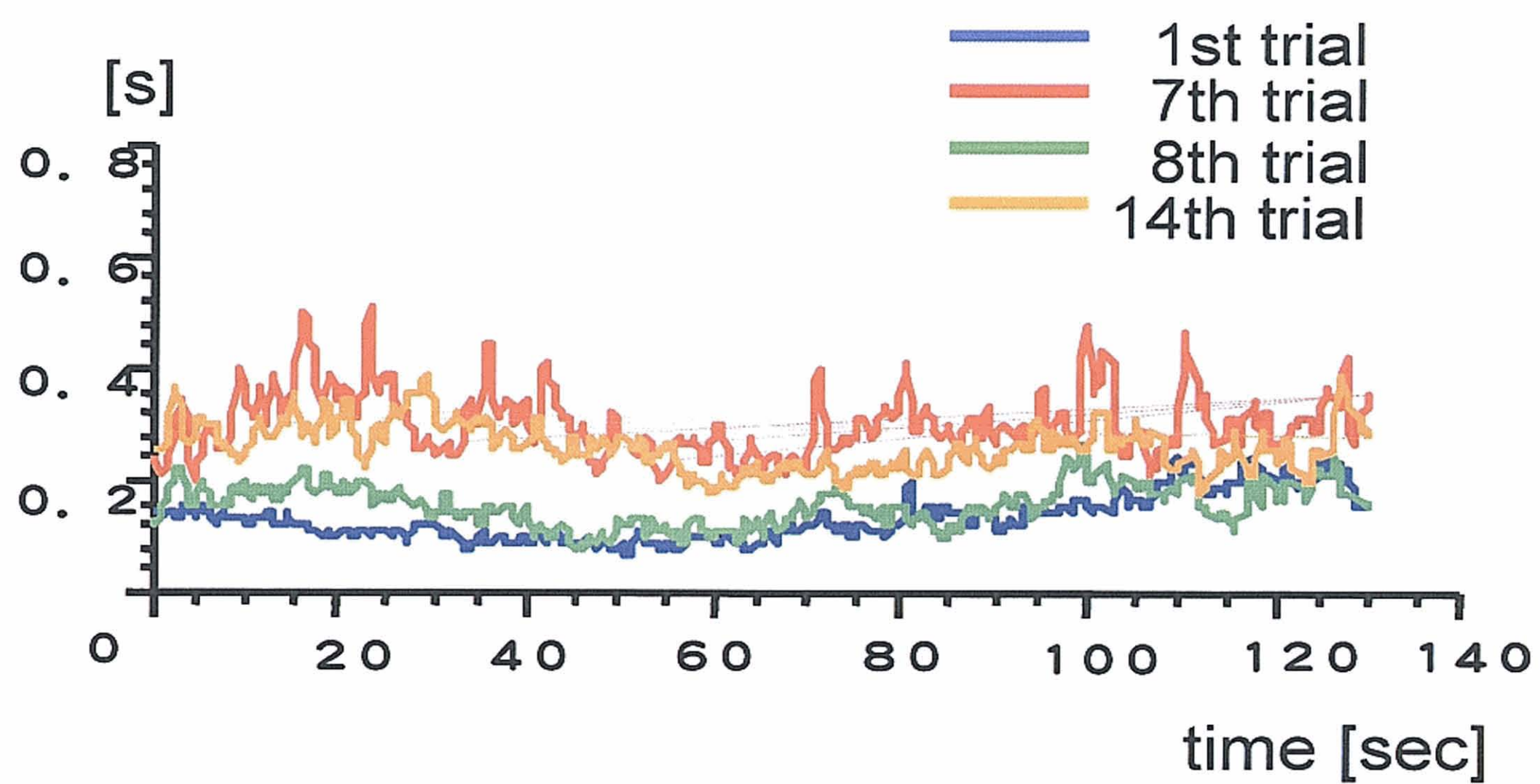


図5-2 グループLにおけるRRI（上図）と $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ （下図）の経時変化

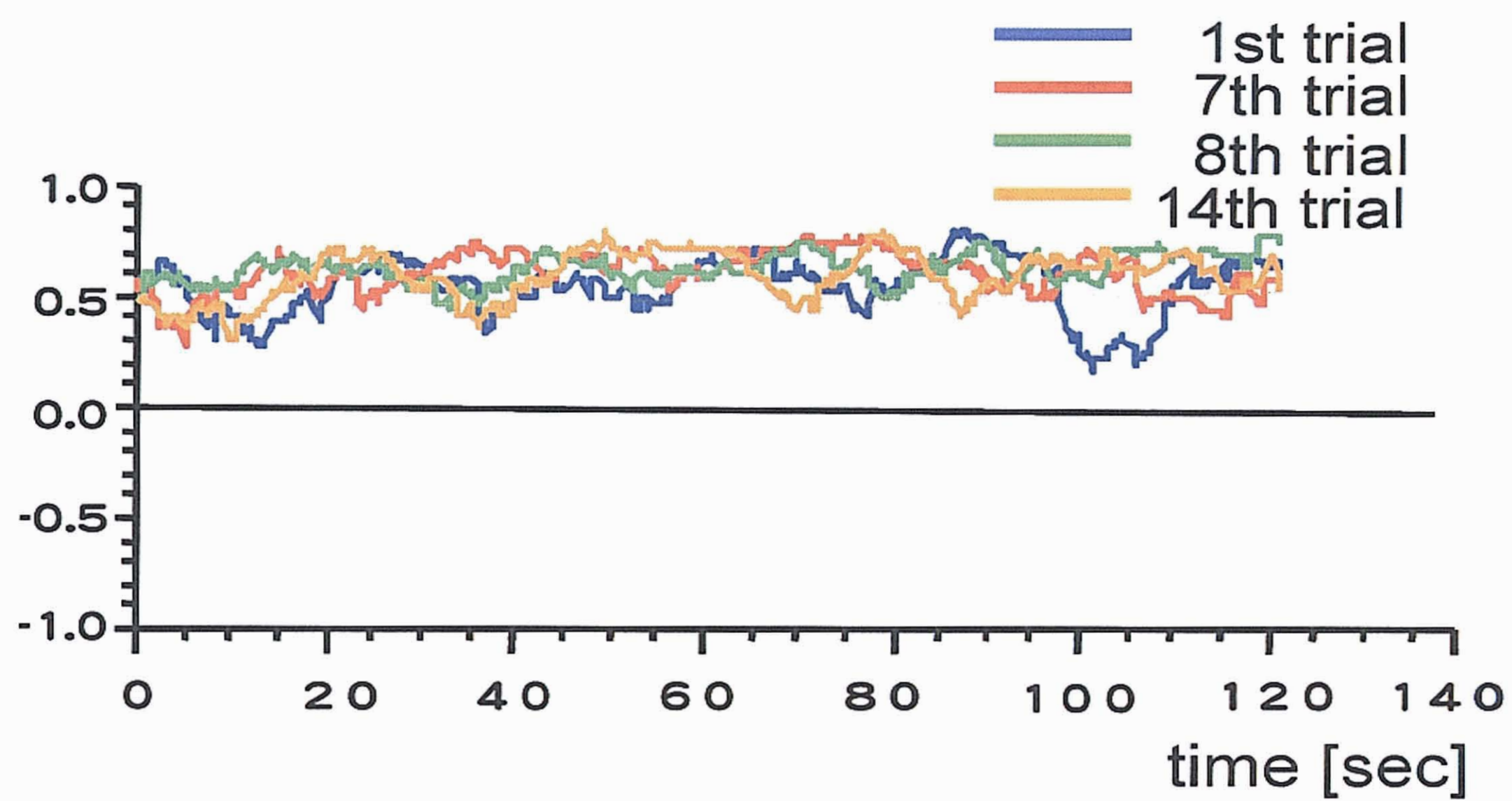
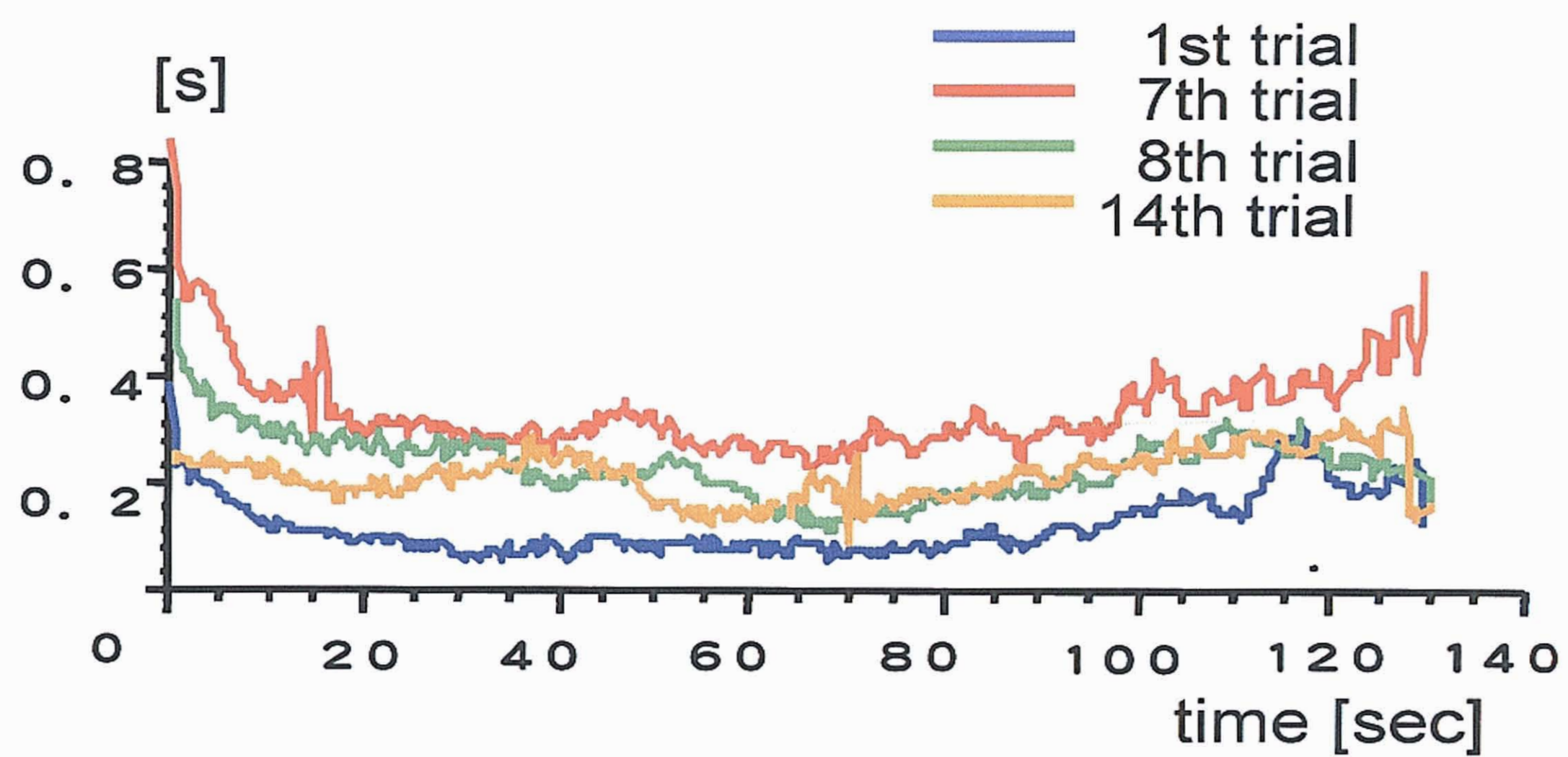


図5-3 グループSにおけるRRI（上図）と $\gamma_{ARV-MPF}$ （下図）の経時変化

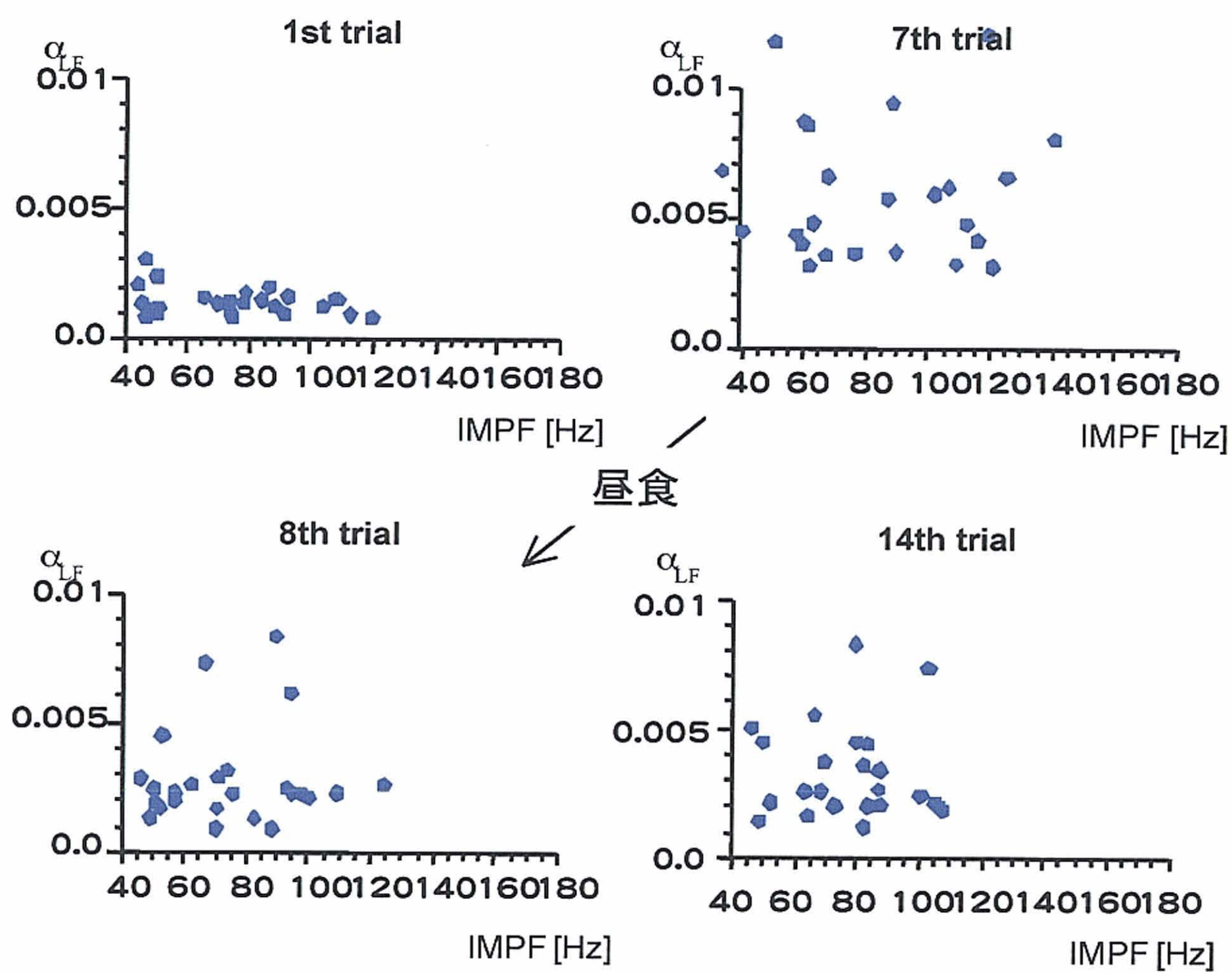


図5-4 グループLにおける α_{LF} と IMPF の関係

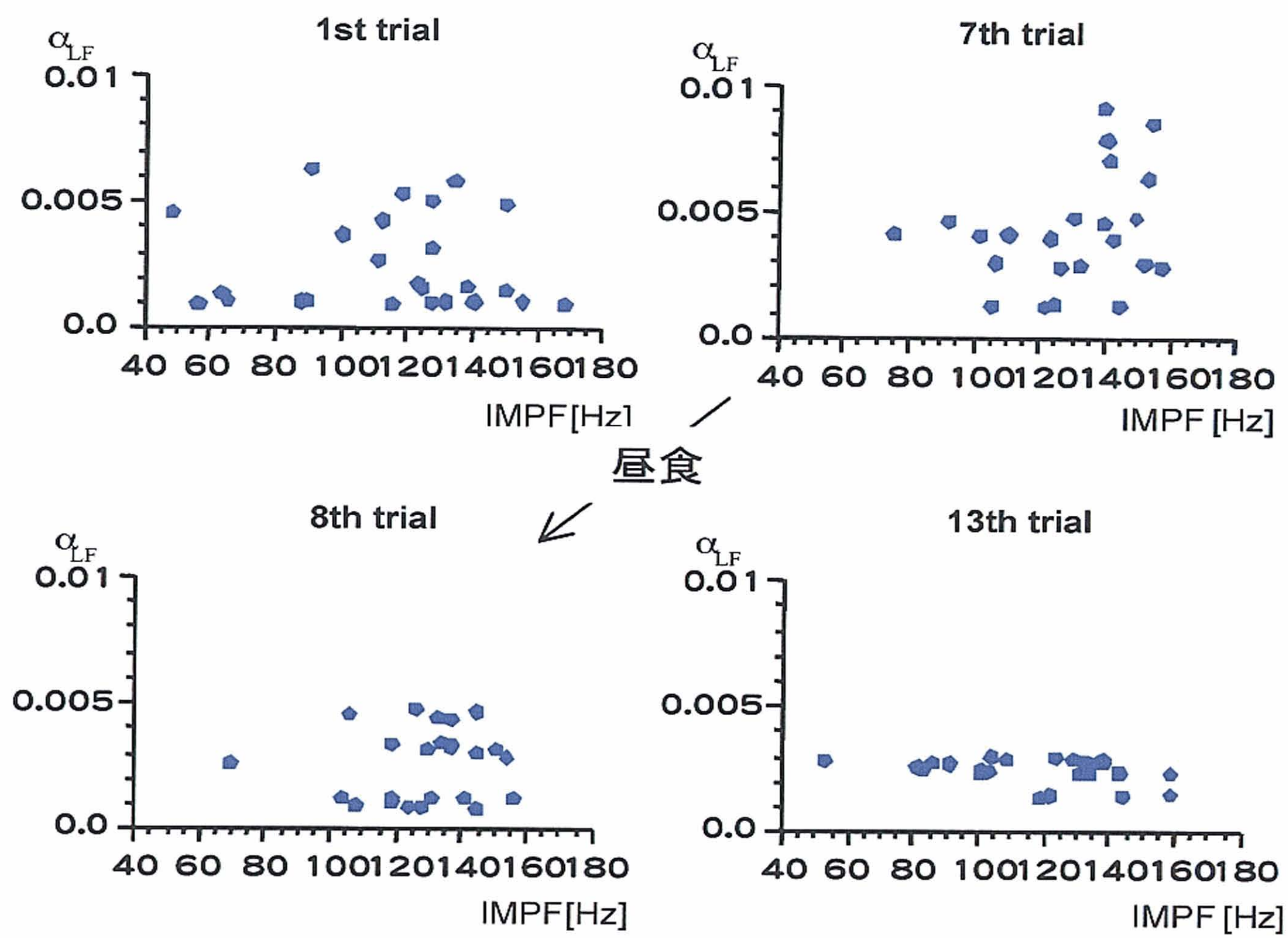


図5-5 グループSにおける α_{LF} と IMPF の関係

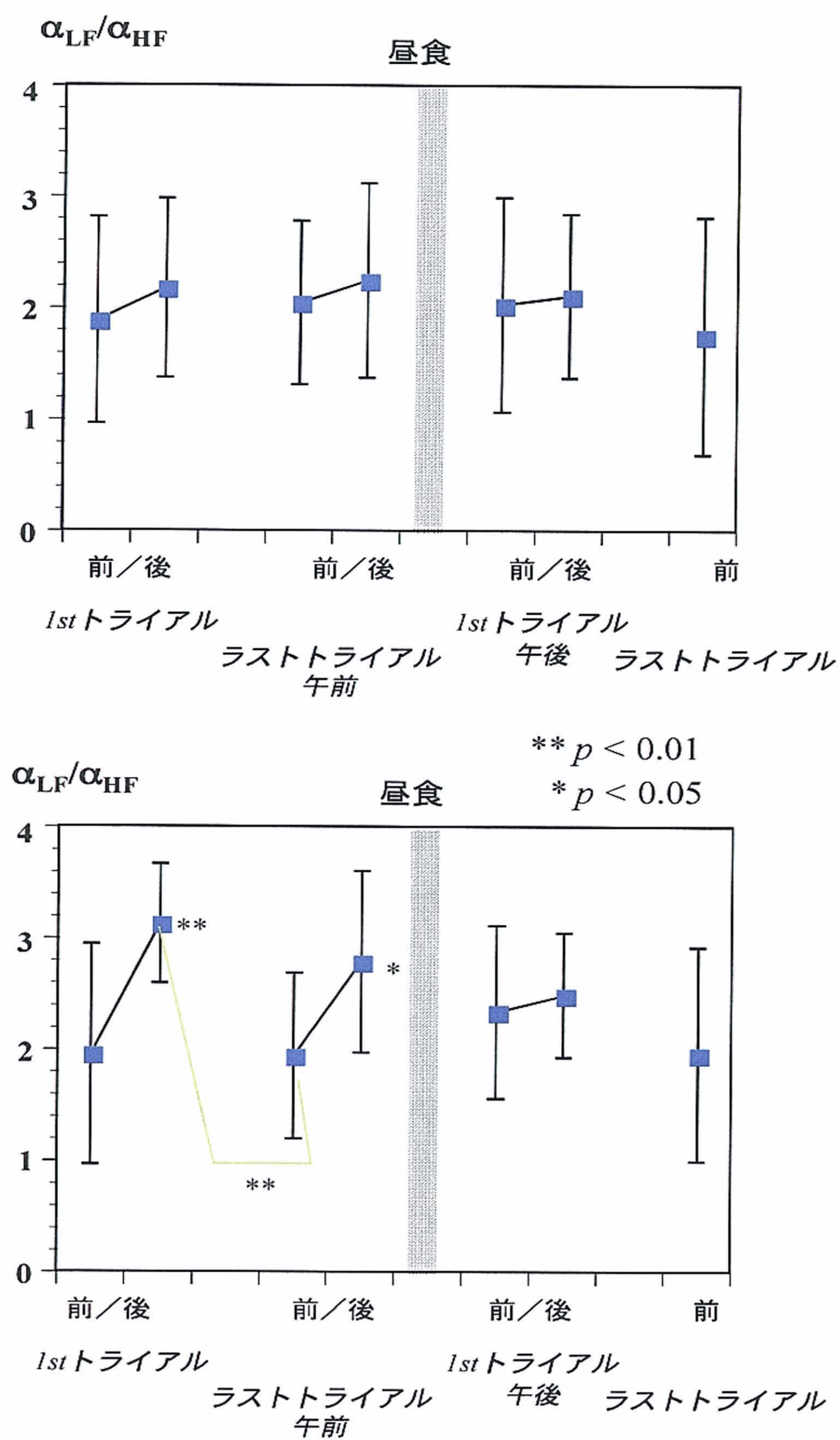


図5-6 リフト搭乗時の自律神経活動の変化
(上図 グループP 下図 グループS)

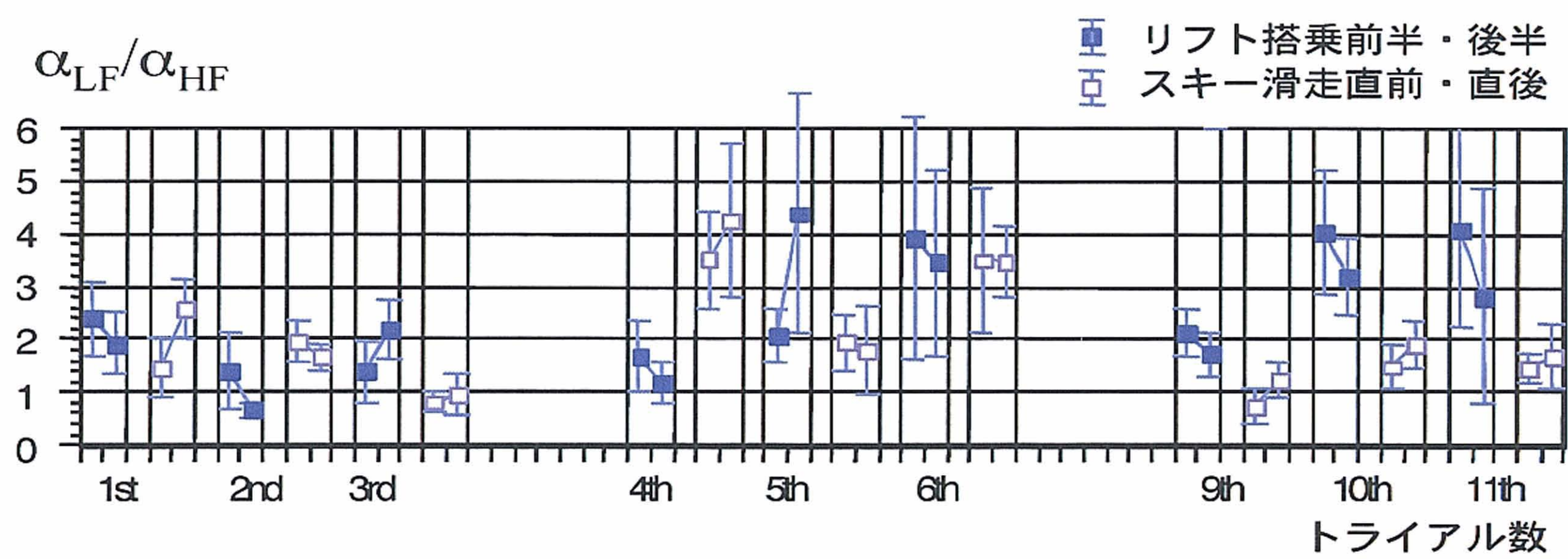


図5-7 リフト搭乗時前後半とスキー滑走前後の自律神経活動の変化

表5－2 各時刻におけるIMPF

Time Sub. (sec)	10	30	60	80	100
KS (n=14)	76.0±6.7	75.6±6.1	75.4±6.0	73.6±6.3	78.9±10.1
NM (n=14)	130.9±8.3	122.5±9.4	121.9±13.5	118.2±9.7	121.5±8.2

Mean±S.D. [Hz]

5-6 考 察

クロスカントリースキーでRRIから自律神経活動を報告した例がある。そこでは回復時間と最大酸素摂取量が反比例の関係にあることが報告されている[55]。

しかし、筋活動との関係は十分に研究されていない。一方、筋電図の解析を主に行っている研究では心拍数のみを議論の対象にしていることが多い[41,42]。

ここでは自律神経活動と筋活動の関係に基づいて分けたグループの特徴を考察する。グループLでは $\gamma_{ARV-MPF}$ の振る舞いから筋活動が活発に変化している様子をうかがわせ、トライアルが進むにつれてIMPFが低周波帯域に集中し、 α_{LF} が上昇した。これはIMPFの低域集中にみられる筋疲労を回復させようとする自律神経系の働きと考えられる。すなわち、一つのスキー滑走運動での後半や、7ないし8トライアル目となる午前中最後のトライアル、さらに、14ないし16トライアルとなる1日の最後のトライアルに近づくにつれ、運動を維持しようとする自律神経活動の影響が顕著に現れてきたものと考えられる。一方、グループSでは $\gamma_{ARV-MPF}$ は正の値を示したが、IMPFは低周波数帯域に集中した。つまり、 $\gamma_{ARV-MPF}$ からは筋活動が活発ではないことを伺わせるが、ひとつひとつターンでの変化を観察できるIMPFからは、やはり筋疲労の特徴を捉えることができた。なお、 α_{LF} はわずかではあるがトライアル数の増加にともなって低下した。グループSはRRIも短いことから、常に心拍数が高く、筋疲労に対する自律神経系のサポートがうまく機能しておらず、さらに筋疲労を急速に進めることになったのではないかと考えられる。

自律神経系関連指標からみられた特徴における、グループSではスキー運動終了後のリフト搭乗時の α_{LF}/α_{HF} が高い値を示した。これはリフト搭乗中の交感・副交感神経のバランスが関与したものと思われる。通常は、リフト搭乗時は休息であるが、筋疲労が進むにつれてリフト搭乗時の時間だけでは休息が十分に得られなくなってしまう。また、下肢での血液の停留が考えられる。その結果、

血圧や体温を維持するための筋交感神経活動がリフト搭乗時でも強くなり、副交感神経活動とあいまって、Mayer波帯域の活動が大きくなったためと考えられる[65]. このことから、スキー滑走時だけに着目するのではなく、リフト搭乗時の α_{LF}/α_{HF} にも注目する必要がある. また、グループLでは impf が低周波帯域に集中するとともに、トライアル数の増加によって α_{LF}/α_{HF} が上昇した. これは、筋疲労を回復させようとする自律神経系の働きが、ひとつのトライアルでスキー運動の後半や、トライアル数の増加によって活発となったためと考えられる. さらに、昼食の影響も示唆されている[66]. 実際、スキー実験開始を1時間早め、昼食時間も1時間早めた4セットでは、自律神経活動の結果は今まで報告した結果と変わらなかった. また、食事を摂取することで心拍数、血圧が上昇するという報告がある[66]. これに関しても、昼食を抜いた3セットでは午後の最初のトライアルで α_{LF}/α_{HF} の上昇がみられないセットがあった. これらの結果から食事の影響も考慮する必要があると考えられる.

5-7 まとめ

本実験では、スキー運動における心拍変動と表面筋電図による生体機能の変化を評価した結果、筋疲労に対する自律神経系のサポートが機能するタイプとそうでないタイプに分類することが出来た。

高齢者へのスキー指導を考えた場合、今後は各個人がどちらのタイプであるかをまず特定し、そのデータを元に疲労の程度をオンサイトで評価する必要がある。さらに、個人のデータベースを作成し、過去のデータと照らし合わせて行くことが重要である。

しかし、現実的には、心拍数の測定と共に筋電図計測を行うには、現段階では計測装置の装着が困難であるため、装置の簡略化が必要である。また、本研究の解析方法においては、終日にわたる長時間の生体機能変化を捉えることができるが、一回一回のトライアルにおいて運動機能変化を知ることが難しい。これは筋電図の処理がある一定時間の間、一様に行なわれており、筋力が発揮されている時間とそうでない時間も同様に MPF が算出されてしまっているからであると考えられる。

第6章 膝関節角度を参照した筋疲労

評価方法の開発

6 膝関節角度を参照した筋疲労評価方法の開発

6-1 はじめに

現代の高齢社会の健康志向と相まって、中高年者のレジャーとしてのスキーに再挑戦する人が増えてきている。しかし、中高年者を対象としたスキー指導は十分整備されているとは言い難い。スキーによる傷害の45%は膝に集中しており[67]、これは転倒によって引き起こされるものである。そのため、中高年者を対象としたスキー指導では、スキーヤー自身の運動状態を把握することは安全管理上、必須といえる。

スキーのような活発な運動を長時間行うと疲労が蓄積し、傷害などを引き起こす可能性が高くなる。これは中枢性疲労による集中力の低下の他に、主に筋肉の疲労など、運動機能が低下することによるものである。この際、運動時における休息の取り方によって疲労の現れ方が異なってくると考えられる[55]。また、運動時に休息を取るタイミングとその長さには個人差がある。ここで、運動中の生体機能の変化を知ることが出来れば、運動機能の低下によるケガなどの傷害を未然に防ぐことが出来る。また、同様に休息が十分であるかどうかについても知ることが出来れば傷害防止がより効果的になる。

しかし、これらの生体機能の変化がどの生体信号に現れるかは個人差があり、絶対値での評価をすることは困難である。また、計測方法は目的とする運動を阻害するものであってはならない。そして、その評価結果についてもその場で迅速にフィードバックしなくてはその意味を持たなくなってしまう。

第4章、第5章で述べたように、スキー運動時における生体情報を、出来るだけ運動の阻害にならないように計測する装置を開発してきており、それを用いてスキー運動時の運動機能評価を行い、かつ、即時にその結果をスキーヤーにフィードバックできるようにしてきている[56,57]。しかしながら、これま

ではスキーの滑走開始から終了までを同一に解析しており、筋活動が盛んな局面とそうでない局面が混在していたため、疲労の特徴が出にくい場合もあった。

スキー運動は膝の屈伸が繰り返されるという運動構造をもっており、さらにターンの際には圧雪抵抗、遠心力などの外力に抗するための筋活動が行われている。このことから、膝の屈伸状況を把握し、これを元に筋電図を抽出して解析することで筋の機能評価をより正確に行うことが出来るものと考えられる。

本研究では、筋肉疲労を表面筋電図から求められる周波数情報(MPF : Mean Power Frequency)をターン毎に算出し、一回の滑走中にどのような変化が起きているか、また、一日を通して滑走数が増した際の変化がどのようなになっているかについて検討した。

6-2 実験システムの構成および計測条件

6-2-1 実験システムの構成

実験システムの構成については4-3に示したとおりである。

6-2-2 実験・計測条件

実験は、新潟県中頸城郡妙高高原池の平温泉スキー場カヤバゲレンデにおいて、2005年3月10,11日の2日に渡って行った。実験に用いたコースは全長約4000mであり、前半部分が中斜面（最大傾斜約20度）、後半部分が緩斜面（平均斜度約7度）になっている。コース全体の平均斜度は約14度であった。

被験者はスキー歴20年の成人男性（31歳，168cm，67kg）とした。

対象としたスキー運動は1日の中で連続的にトライアルを行う繰り返し運動である。ひとつのトライアルは約20分のリフト搭乗（休息）、約5分のスキー運動（運動）の合計約25分からなる。ここで、2分間の心電図をリフト搭乗時に、スキー運動開始時から5分間の表面筋電図および心電図をスキー滑走中に計測した。なお、被験筋は右前脛骨筋と右外側広筋を対象とした。また、フレキシブルゴニオメータを用いて両足の膝関節角度も同時に計測した。被験者の主観的な疲労具合を知るためにトライアルの前後に自覚的運動強度（RPE: ratings of perceived exertion）を計測した[58-61]。

表面筋電図における被験筋は、スキー滑走時に姿勢を維持するための右前脛骨筋および重力とターンによる遠心力に抗するための外側広筋とし、いずれも右脚を被験側とした。電極は幅1cm 電極間隔1cmの2-bar アクティブアレイ電極(DE-2.3 electrode, DELSYS 製)を用いた。この電極は、神経支配帯を挟んで

いないことを確認した上で、専用の両面テープにより被験筋の皮膚に貼付した [58]。表面筋電図計測と心電図計測はともに利得 60dB とした。

フレキシブルゴニオメータは左右の膝の外側に装着した。表面筋電図の電極とフレキシブルゴニオメータの装着位置は図 6-1 に示すとおりである。膝関節の角度変化は電圧の変化として出力されるため、筋電図とともに、サンプリング周波数 1 kHz、量子化ビット数 12 ビットで A/D 変換(National Instruments 製 DAQCard-6024E)し、PDA の SD カード(1GB SD card, HP 製)に保存した。

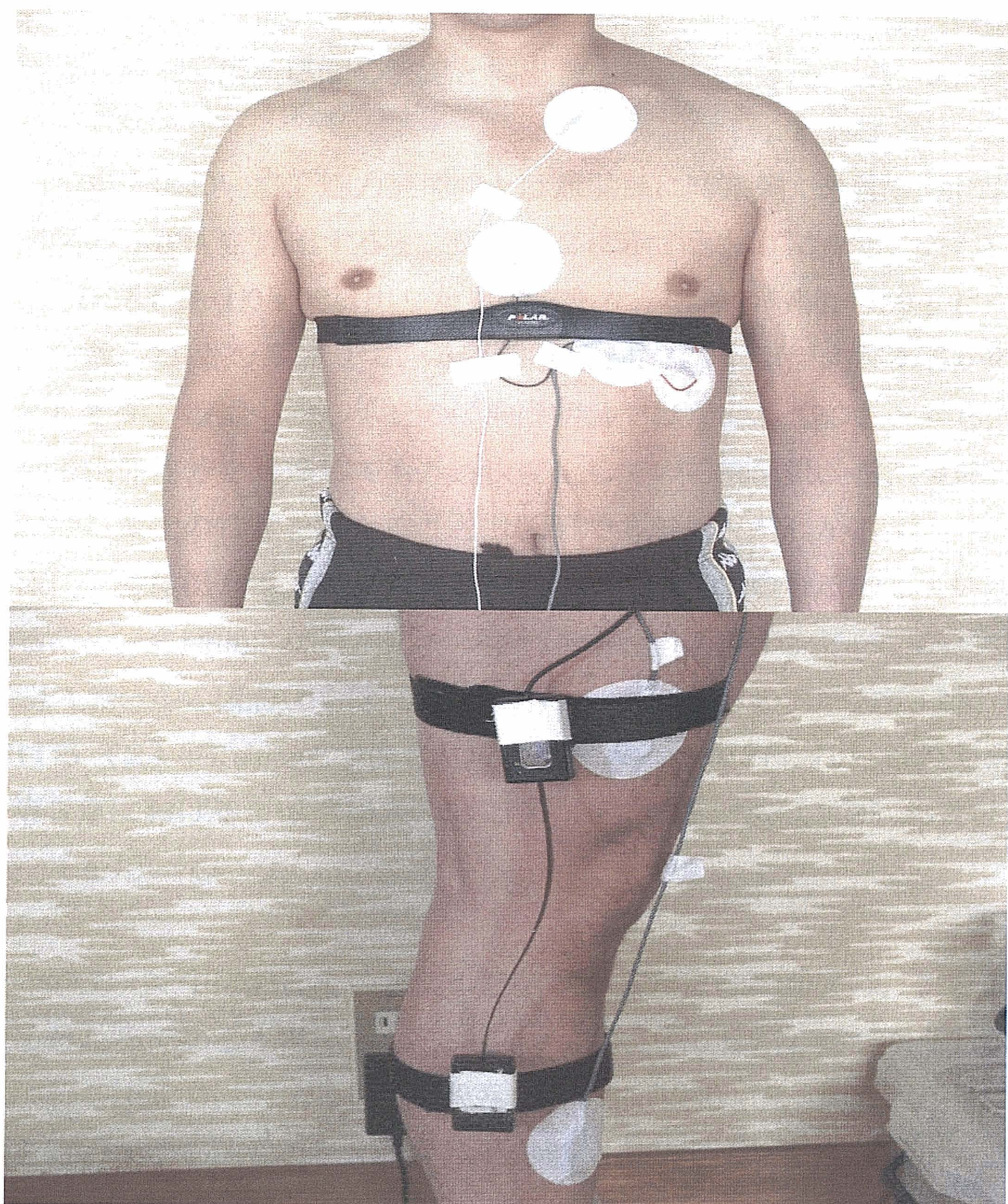


図6－1 電極およびゴニオメータの貼付・装着位置

6-3 表面筋電図による筋疲労の推定

6-3-1 筋電図解析区間の決定と抽出

スキー滑走中において、筋力発揮時とは無関係に時系列で外側広筋における表面筋電図の MPF を算出すると、図 6-2 に示すとおりになる。これは区間長 1.0 s、シフト長 1.0 s で算出したものであり、横軸の時間、160 s は結果で示すターン数、23 と一致させている。前半に MPF の低下傾向があるかのようにも思われるが、振幅が激しくその傾向は明確ではない。このことから、単純に時系列で生体信号を処理しても、逐次変化している筋活動から、生体の運動機能における変化の特徴を捉えることは困難であることがわかる。

この様に、生体信号は、様々な時間スケールの運動機能を反映していると考えられるため、各時間スケールにあった解析を行う必要がある[56,57]。このマルチ時間スケールの概念図を図 6-3 に示す。図 6-2 の算出方法は図 6-3 中における (2) の“skiing”で表されているスケールで行われたものである。また、第 5 章における自律神経系の評価を行っている方法は (2) および (3) のスケールを用いている。

スキーのターン中において被験側の筋活動が盛んになる局面は、被験側が外脚になるところであると考えられる。これは谷回りにおいて膝が屈曲しながら外足に加わる遠心力に対する筋力を発揮（伸張性収縮）し、次に山回りにおいて伸展を行いながら圧雪抵抗に抗するための筋力を発揮（短縮性収縮）するからである[7,38-40,68,69]。

この様なことから、本実験の筋電図解析区間は比較的短時間であるスケールを用いることとした。図 6-3 中の概念では (1) に相当するものである。この筋電図抽出区間はスキー運動のイメージに対応させると、図 6-3 中に矢

印の範囲で示すとおりになる。

この範囲をシステムが自動的に抽出するには、スキーヤーの下肢の運動パターンを詳しく知ることと、その運動と局面を定義づける必要がある。スキーヤーの下肢の運動パターンは左右対称で周期的な運動であるという特性を持っているため、この運動パターンを膝関節に装着したゴニオメータによって計測することでその特性を活かして筋電図の抽出区間を決定していくことが可能であると考えられる。

以上の事から、ゴニオメータによって計測された膝関節角度より図6-5に示すとおり筋電図の抽出区間を決定することとした。本実験では右足の外側広筋と前脛骨筋および左右の膝関節角度を計測している。そこで右足が外足となる左ターンのみを特定するために左右の膝関節角度が等しくなる点をターンの切り替えのポイントと定義し、そのポイント間でかつ右の膝関節角度の値が小さい区間の筋電図を抽出することとした。

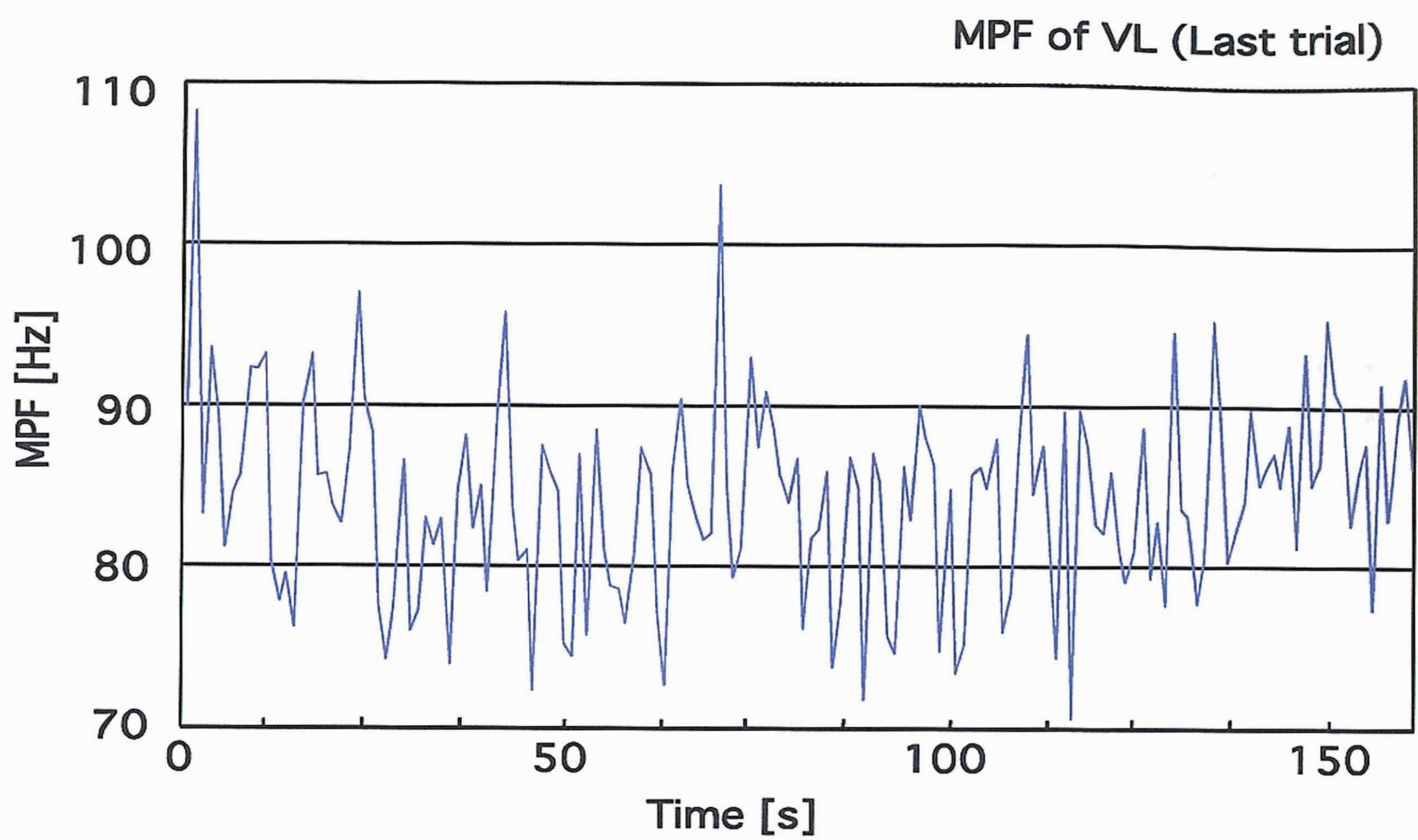


図6－2 外側広筋における MPF の時系列変化

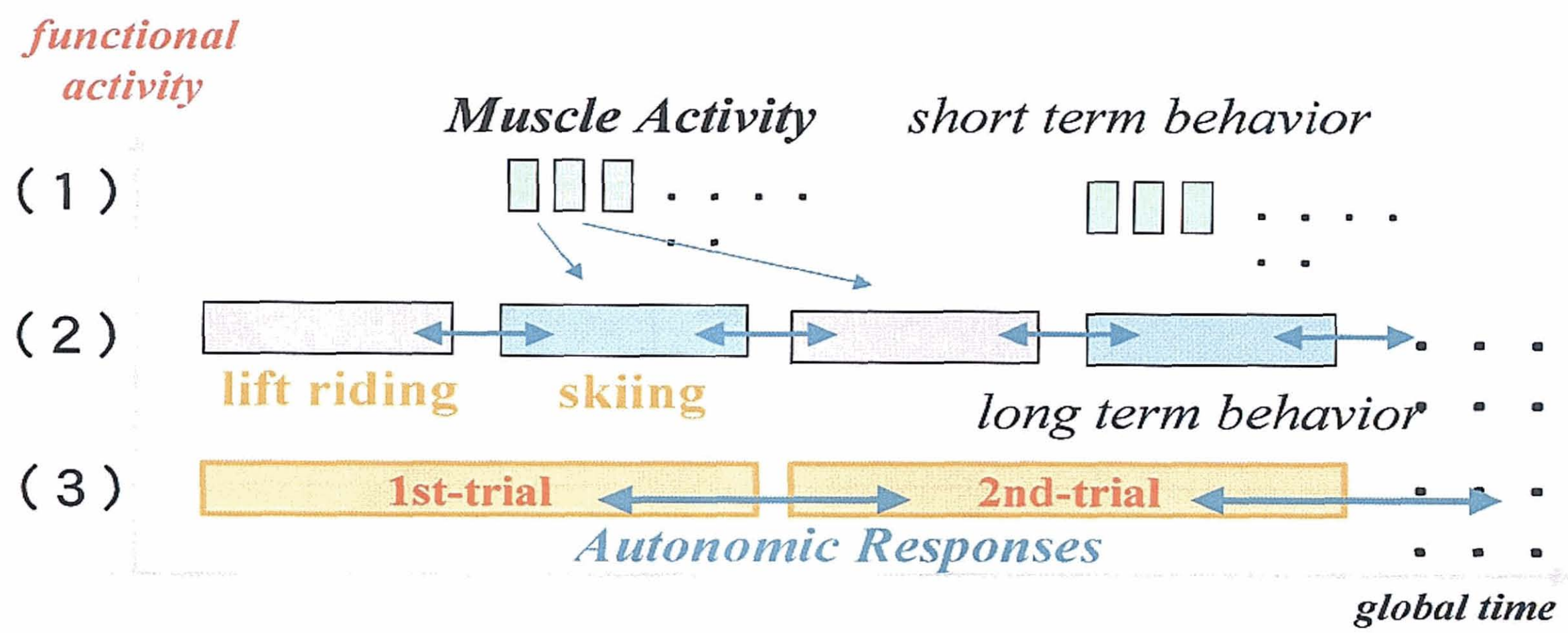


図6－3 マルチ時間スケールの概念図

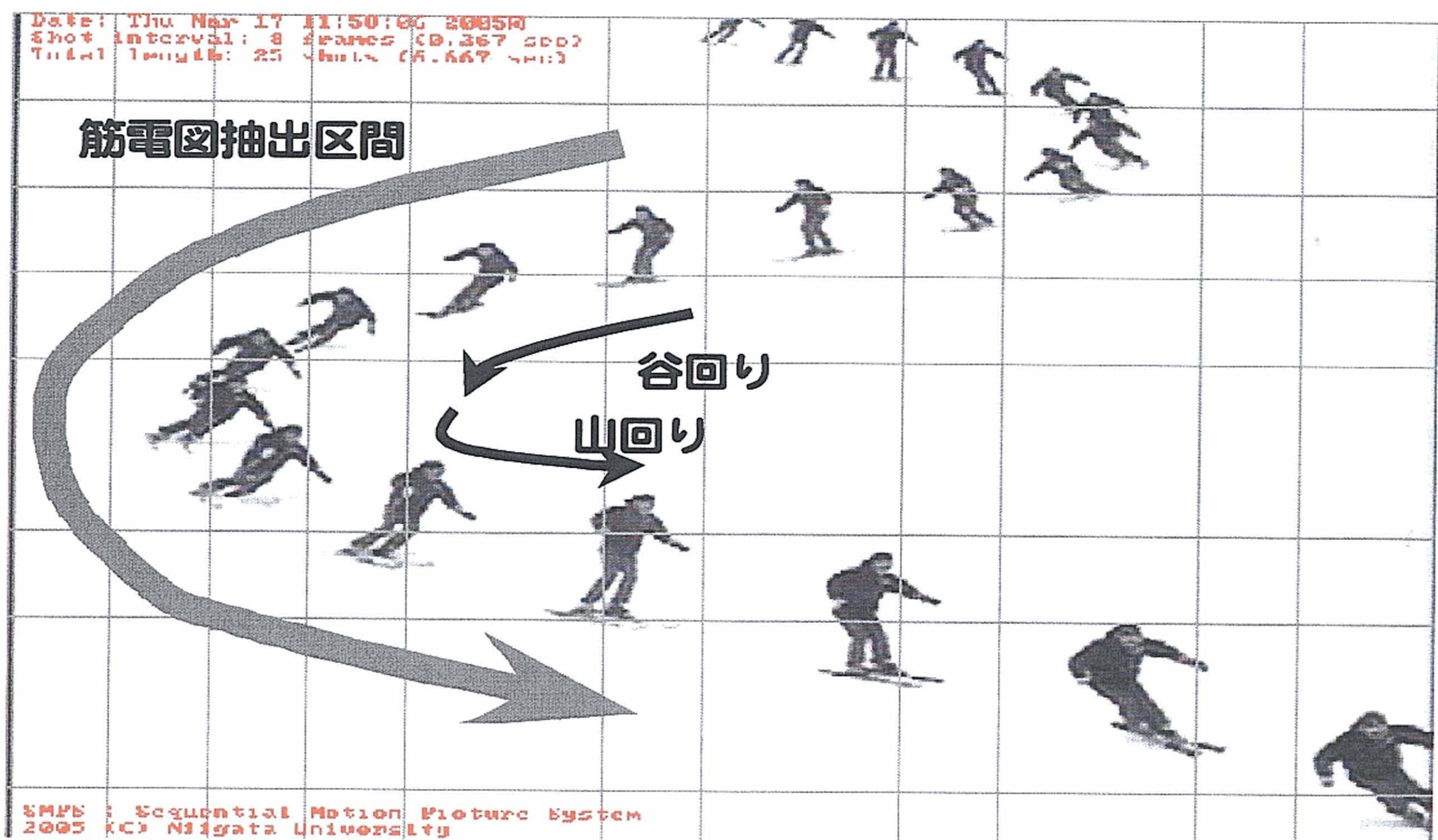


図6-4 スキー運動中の筋電図抽出区間

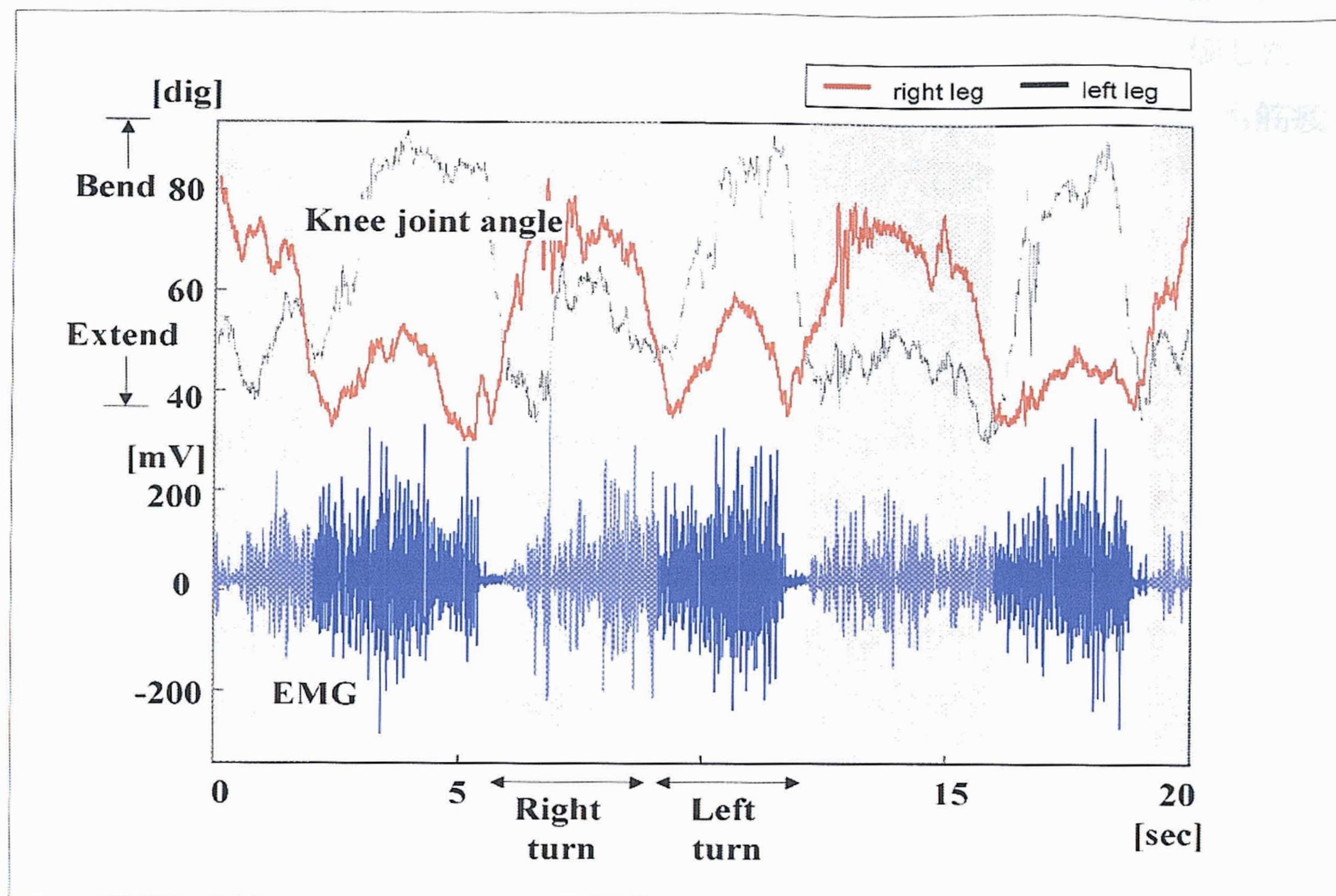


図6-5 膝関節角度の変化によって抽出された筋電図の区間

6-3-2 MPF (Mean Power Frequency) の算出

膝関節角度変化を元に抽出した左ターン中の筋活動を、その区間の筋放電の周波数情報である平均パワー周波数(Mean Power Frequency)を用いて評価した。筋電図は筋疲労時に周波数が低下することが報告されており[63]、MPF も筋疲労時に低下する。

MPF は第5章における式(2)に従って算出した。

特定した左ターン中の筋活動の各区間(約3~5 s)に対して、時間周波数解析を行い、10 Hz~500 Hzのパワー W からMPFを算出した。このとき、時間周波数解析は、解析区間長 500 ms、シフト長 10 ms でハミング窓を用いて短時間フーリエ変換(STFT: Short Term Fourier Transformation)を行った。ただし、 n は解析区間における各サンプル時刻を表し、 f_h は MPF を求めるための最高周波数を表し、 f_l は最低周波数を表している。

6-4 結 果

6-4-1 前脛骨筋の MPF 平均値

前脛骨筋における各ターンの MPF 平均値の推移を図 6-6 上図に示す。これは実験期間中のすべてのトライアル ($N=11$) についてまとめたものである。

午前では、ターン毎の平均値の推移は $122.6\sim 134.2$ Hz, 午後では $112.0\sim 123.7$ Hz の間であり、いずれも標準偏差に比べて小さいものであった。

6-4-2 外側広筋の MPF 平均値

外側広筋における各ターンの MPF 平均値の推移を図 6-6 下図に示す。これも前脛骨筋と同様、実験期間中におけるすべてのトライアルについてまとめたものである。1 ターン目は 140.1 ± 3.7 Hz であり、その後徐々に低下して 10 ターン目で 124.3 ± 5.0 Hz となった。その後は推移が偏差に比べて小さく、プラトー状態であった。

図 6-7 には、上図に 3 月 10 日午前、下図に午後のトライアルにおける MPF 平均値の推移を示す。午前では 1 ターン目の 139.7 ± 1.9 Hz から徐々に低下し、17 ターン目で 120.3 ± 3.8 Hz にまでなり、その後は変動があるものの、標準偏差の方が比較的大きかった。午後では 1 ターン目が 142.6 ± 4.5 Hz で始まり、徐々に低下して 9 ターン目で 119.0 ± 4.2 Hz となった。その後は約 125 Hz 前後で推移していた。

なお、実験管理上、3 月 11 日は午前中だけのトライアルであったため、3 月 10 日の午前と午後のトライアルについて解析し、比較した。

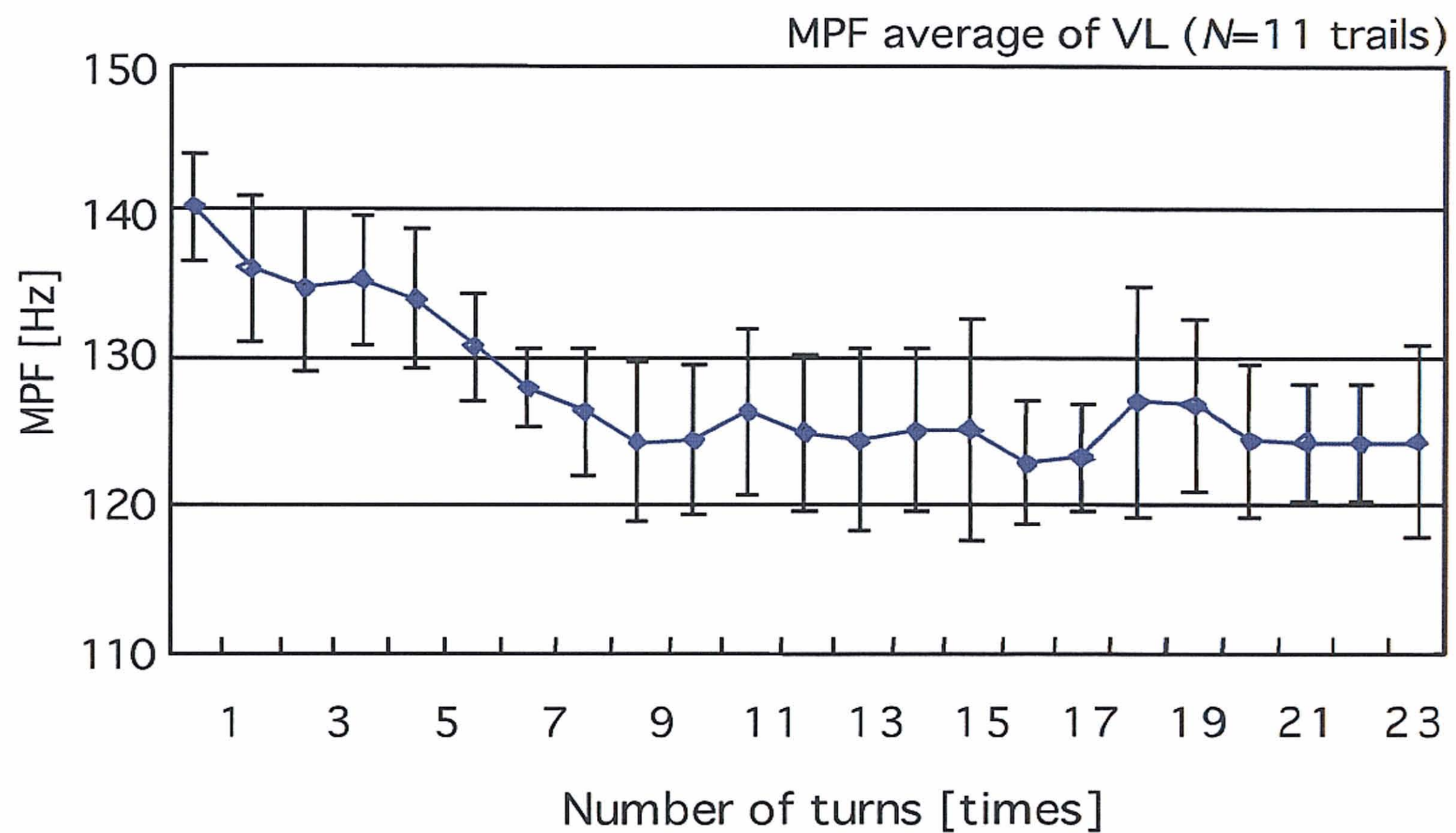
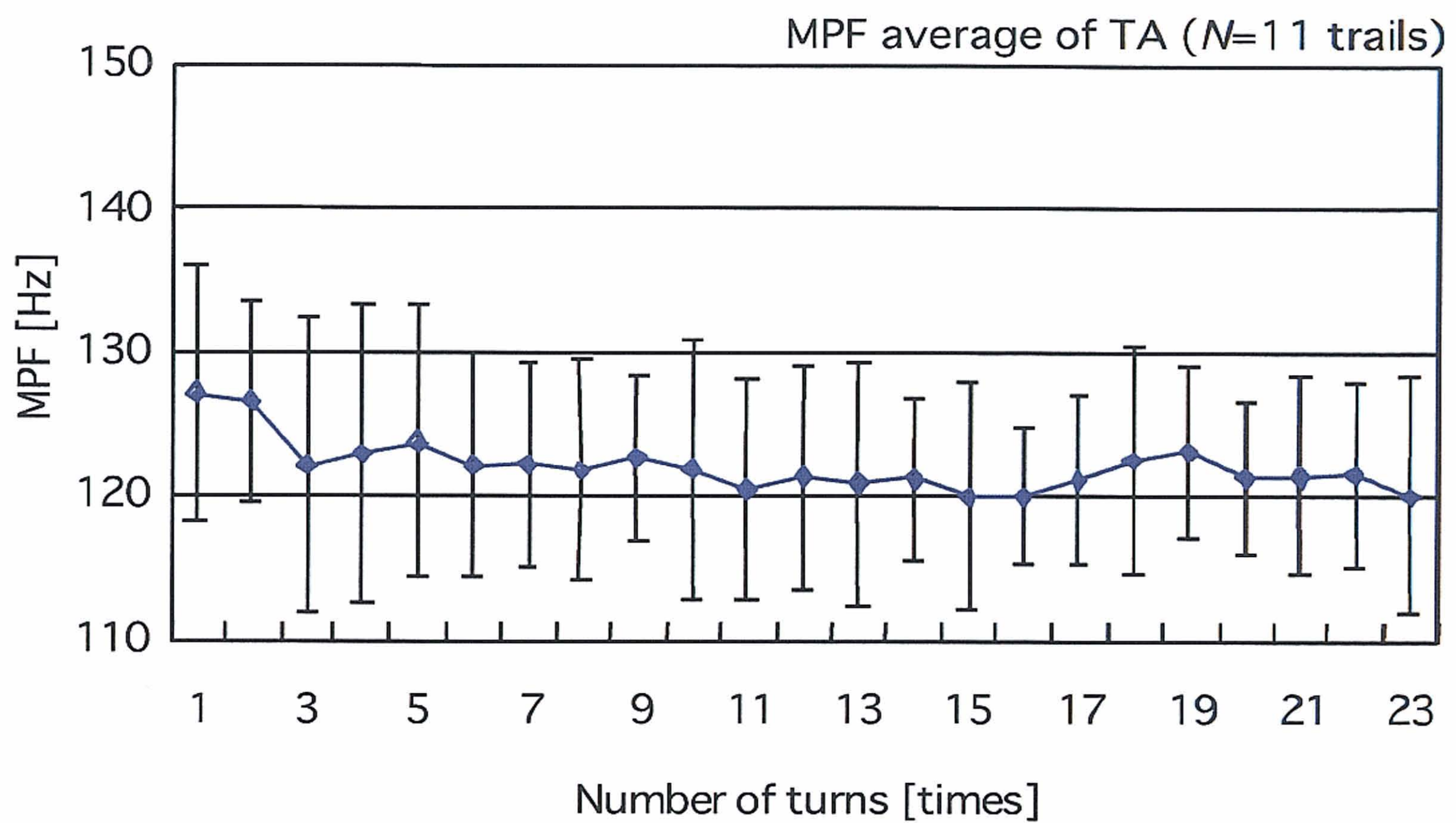


図6-6 前脛骨筋と外側広筋におけるターン毎の MPF 平均値
(実験期間中のすべてのトライアル)

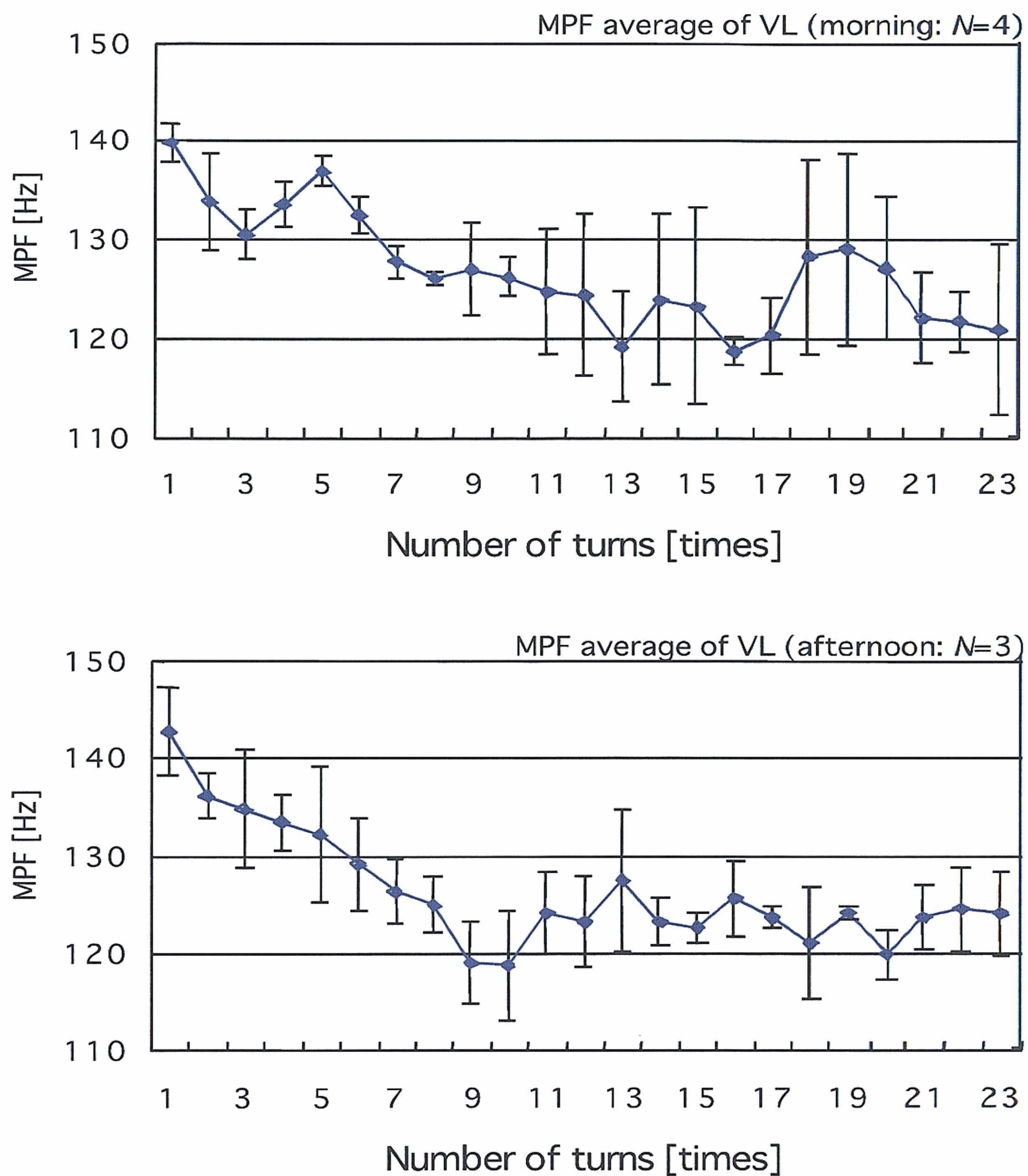


図6-7 外側広筋における各ターン毎の MPF 平均値
(上図：午前 下図：午後)

6-5 考 察

6-5-1 前脛骨筋と外側広筋の比較

図6-6によれば、膝関節角度を参照した前脛骨筋での MPF 平均値に若干の低下傾向が見られるが、その変化にはばらつきが大きく、統計的な有意差 (<0.05) はなかった。この原因として、被験者のスキー技能が高く、スキー運動時の姿勢維持に働く前脛骨筋の筋活動がそれほど均一的ではなかったためであると考えられる。なお、これまで多くのスキー実験結果 (1997 年から 2000 年にかけての 5 名の約 500 トライアル) では、前脛骨筋の MPF は 1 日の中でトライアルが進むにつれて低下傾向を示した [56,57,63]。これは、スキーヤーが初中級者であったため後傾姿勢となり、MPF の変化が前脛骨筋に顕著に現れた結果と考えられる。ただし、過去の実験では膝関節角度を計測しておらず、MPF の時間変化にはさらに多くの変動が含まれ、評価しにくいものであった。

一方、膝関節角度を参照した外側広筋の MPF 平均値はトライアル前半においてターン毎に線形的な低下傾向があり、1 ターン毎に筋疲労が蓄積している様子が現れている。トライアル後半では、MPF 平均値は前半の最小値よりも若干高い値で推移し、ばらつきも大きくなった。これは、ゲレンデの斜度が後半において緩やかになっておりスキーヤーに加わる外力が小さくなっていることによるものであると考えられる。このことから筋疲労を評価するには、膝関節角度を参照しながら、ある程度以上の負荷が加わった区間を解析すべきである [41,42,62,63,71]。

以上のことから、膝関節角度を参照して MPF の低下傾向を探ることは、有効な筋疲労の評価項目になる可能性が高い。

6-5-2 MPF 平均値変動の午前および午後の比較

図6-7によると、筋疲労がまだ蓄積していない状態である午前のトライアルでは、MPF 平均値が最小になるまでに13~16ターンを要していたのに対して、午後のトライアルでは9~10ターンで最小値に達した。このターン数は時間的に約80秒から120秒を要した。ここでの1ターンは左ターンだけであり、被験側が内脚となる右ターンではほとんど筋活動はないため、被験筋が活動している時間は約40秒から60秒である。これは無酸素性のエネルギー供給時間にはほぼ一致している[72]。これらのことから午前に比べて午後では筋が疲労しやすくなってきている事を示しているものと考えられる。

また、ひとつのトライアルの後半部（ゲレンデ後半の緩斜面）では、午前中にMPF 平均値の時間変動と任意のターンでのばらつきが大きいのに対して、午後では比較的安定しばらつきも小さかった。この様に、斜度が緩やかでスキーヤーに加わる負荷が小さいにも関わらず、午後に見られた特徴からも筋疲労の影響を評価できそうである。

図6-8に、前半部における午前、午後それぞれのトライアルでのMPF 平均値のターン毎の変化を回帰直線として示す。これによると、滑走開始時のMPF 平均値には午前と午後において差はあまり見られない。しかしながら、ターンを繰り返すことによってMPF 平均値の低下傾向に明らかな差が見られた。つまり、筋疲労が蓄積されていると予想される午後の方が、筋疲労が蓄積していないと考えられる午前中と比べ、明らかに筋疲労が早まる傾向にあった。この分散分析の結果を表6-1に示す。

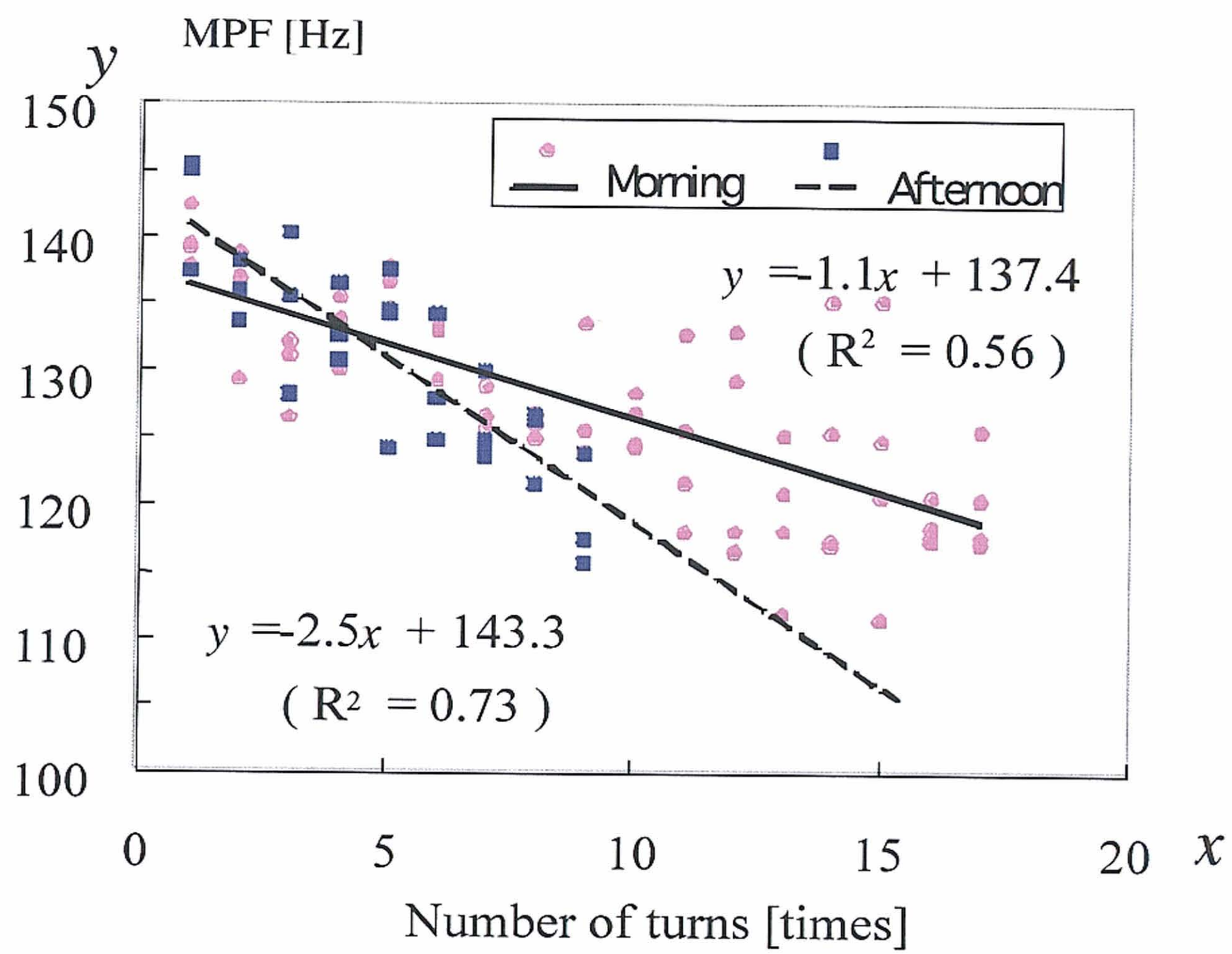


図6-8 外側広筋におけるトライアル前半におけるMPFの低下傾向

表6－1 MPF 低下傾向に関する回帰分析による分散分析表

ANOVA		coefficient	std. error	t	p-value	lower 99.0%	upper 99.0%
morning	intercept	137.5	1.2	111.1	< 0.01	134.2	140.7
	slope	-1.1	0.1	-9.2	< 0.01	-1.4	-0.8
afternoon	intercept	143.3	1.7	84.0	< 0.01	138.5	148.1
	slope	-2.5	0.3	-8.2	< 0.01	-3.3	-1.6

したがって、これらの特徴をとらえることによって終日にわたって運動と休息を繰り返し行うスキー運動でも、筋疲労を評価することが出来るようになるものと考えられる。

6-6 まとめ

スキー運動を安全に行うために、客観的に疲労を評価することが求められている。本研究では、前脛骨筋と外側広筋の筋電図から筋疲労評価をすることを目的とした。そのために、膝関節角度を参照しながらスキー運動時に加わる外力が大きい部分の筋活動を抽出し、その部分について平均周波数（MPF）を算出した。

その結果、前脛骨筋では、スキー上級者において MPF の変化では明らかな筋疲労の傾向を読みとることが出来なかったが、初級者には適用の可能性があった。一方、外側広筋の MPF の変化からトライアル中の筋疲労の傾向が明らかとなった。そして一日を通してみた時、筋疲労が蓄積されることでその低下傾向が強まることがわかった。

これらのことから、膝関節角度の変化をとらえて、スキーの被験側に加わる外力の大きい部分の筋活動を抽出し、その MPF の低下傾向を把握することによってスキー運動時の筋疲労推定を行えるシステムの可能性が示唆された。

本章では、運動機能の変化をとらえるためのパラメータとして筋活動を取り上げており、被験者は30代のスキー技能上級者であった。今後、筋疲労の評価をゲレンデにおけるサービスとして行っていくためには、幅広いスキーヤーの年齢層や技能水準に対応した疲労評価基準を定めていく必要があると考えられる。そのために、これらの個人差に対応すべく、子どもを含む様々な年齢層や性別、第3章におけるシステムを用いた技能水準評価を行って、さらに多くのデータを収集していくことが必要である。今後、この様な課題を解決していくためにはよりコンパクトで簡便な計測システムの開発も重要になっていくものと考えられる。

また、スキー運動の特性である、周期的な膝関節の屈伸運動を利用して、本システムを構築しているが、今後、スキー用具、特にスキー板そのもののサイ

ドカーブの形状が変わってきていることに伴うターン技術の変化に対応するなど、技術の変化やバリエーションに対応するためのアイデアも必要となって行くであろう。

第7章 結 論

7 結 論

スキーは競技としてのスキーとレジャーとしてのスキーに大別することができる。スキー人口の大半は競技ではなく、レジャースキーヤーであり、国内でも長く広く浸透している。レジャースキーにおいては、技能向上を目指すことも可能であり、また、非日常的な自然環境に接するなど、楽しみ方も様々である。このような特性をもつスキーをサポートする要因にはインフラの整備、交通・宿泊、用具開発、技術指導、安全管理など様々なものがあり、これらに支えられて多くの人がスキーを楽しむことができる。

しかしながら、スキーは通常生活している状況とは異なり、長いスキー板を足に固定し、高速で移動するというものであるため、事故や怪我が多い。また、スキー用具の進歩により、スキーヤーもカービングスキーの利用者も多くなってきたおり、これによって高速ターンが行いやすくなっていることも事故が多くなる原因であると考えられている。これから中高年齢者のスキー人口が増える中で、事故や怪我を未然に防ぐことは重要な課題である。このようなことから、ゲレンデにおいて事故を未然に防ぎ、怪我を予防するためには、滑走スピードをコントロールするなどのスキー技術を身につける新たな指導技術・方法の確立が望まれている。そのためには、指導方法を裏付けるスキーヤー自身の運動機能の変化を計測し、疲労などの評価を行うシステム開発が欠かせない。

本論文では、バイオメカニクス的なスキーターンの解析、ストロボ画像によるターンのフォームの理解、さらに、生体信号による運動機能の評価に関して研究を行った。

最初にスキー技術を分析するバイオメカニクス的なスキーターンについて解析した。すなわち、スキー滑走技術で重要であるターンの際のスキー板への加重について、膝関節ゴニオメータと足圧センサによって3種類のパラレルタ

ーンでの特性を比較した。その結果、下肢関節角度変化と足底圧力分布の関係を
知ることができた。これによって膝関節角度と脚部に加わる外力との関係を
推定することが可能となった。

次にスキー技術の指導に関して、即時に指導者が技術的なポイントを、スト
ロボ画像を用いて、ゲレンデでスキーヤーにプリント提示できる新しい方法を
提案した。従来、映像を用いてスキー指導を行う場合、ビデオ映像を使用する
ことがほとんどであるが、一人の指導者が多くの受講生に対して、個々にその
映像を、十分な時間をかけて提示することは不可能である。そこで、ゲレンデ
に設置したビデオカメラの映像をPCに入力しながらストロボ画像を合成した。
このシステムを実際のスキー指導現場で使用し、利用者の感想をアンケートに
よって集計した。その結果、技術指導に役立つと回答した割合は 85%であっ
た。その他の調査項目と合わせて、本システムの有効性が明らかとなった。

スキーヤー自身に本人の運動機能変化の評価をフィードバックするシステム
は、疲労による怪我を防ぐには最も効果的な情報である。運動機能の時間変化
は随時起きている、スキー滑走中のその変化をとらえられれば、運動のパフォー
マンスばかりでなく、疲労の程度を評価することもできると思われる。しか
し、ゲレンデは屋内の研究室とは異なる環境にあり、運動機能の変化を探る生
体信号の計測には新たなシステムの開発が必要である。この際、随時変化して
いる運動機能をその場でスキーヤー自身にフィードバックする事は効果的であ
り、運動機能の計測・評価を行うと共に評価結果をその場でスキーヤーに提示
する統合システムが好ましい。そこで、小型生体信号計測ユニットに加えて無
線 LAN 機能と評価結果を提示する PDA を用いて、スキー滑走中での計測お
よび滑走後に評価結果をフィードバックする統合システムを開発した。小型生
体信号計測ユニットと PDA によって、運動の妨げにならない大きさと重量の
計測・提示が可能となった。

以上を総合して、スキー滑走中の運動機能変化を評価するためのパラメータ

の検討を行った。ここでは、中枢性疲労に関する情報を自律神経系の影響を受けている心拍変動と、末梢性の疲労に関する情報を表面筋電図から調べた。その結果、トライアル数の増加に伴って心拍 RR 時間間隔が短くなるものの、昼食前後に最も回復している様子を把握することができた。また、トライアル数の増加に伴い、筋疲労評価指標（表面筋電図の平均周波数（MPF））が低下することをある程度確認することができた。しかし、期待したほどの特徴は得られなかった。そこで、筋疲労の特徴をより明確に切り出すために、バイオメカニクス的アプローチで明らかとなったターン時での特性、さらに生体情報からの運動機能評価方法を用いて、膝関節角に対する表面筋電図の区間選択をターン毎に行った。その結果、ひとつのトライアルでターンの回数が増加するに伴い、MPF が明らかに低下する特徴を確認することができた。また、一日の中でトライアル数が増加するに従って MPF が低下する様子をとらえることができるようになり、スキー運動時での筋疲労の程度を評価する方法のひとつを提案することができた。

提案したスキー指導技術・方法、フィールドでの運動機能計測・提示システム、そして運動機能評価方法を具体的に実現するスキーゲレンデが設計できれば、中高齢者のスキーヤーでも安心して、さらなる技術向上、冬期間の健康維持をめざすことができると考える。安全安心を実現する新たなスキーゲレンデの設計は、新潟県におけるスキー場の集客に貢献できることを願っている。

《 謝 辭 》

《 謝 辞 》

本論文をまとめるにあたり，新潟大学木竜徹教授には多大なるご指導をいただき，また，スキー滑走時における生体機能変化についての研究を行うきっかけも与えて頂きました．新潟大学林豊彦教授，同山本正信教授には本論文構成について詳細なご指導を頂きました．新潟大学橋本修教授，新潟医療福祉大学寺島和浩助教授，北海道情報大学鈴木健治助教授には第2章における実験等にご協力頂きました．新潟大学五十嵐久人教授，SAJ 元デモンストレータ金子裕之氏には第3章において多くのヒントを与えて頂き，また，広島大学玉木徹助教授にはソフトウェア作成において大変お世話になりました．第4章，第5章，第6章では，元新潟大学大学院生坂橋伸吉君，青木航太君，新潟大学大学院生千明剛君，(財)上村病院村山敏夫氏に多くの協力をして頂きました．新潟県新発田市ニノックススキー場，妙高高原池の平温泉スキー場カヤバゲレンデおよびホテルベルニナの皆様には実験場所を提供して頂きました．そして，両親である牛山章，かつ江，家族の郁子，竜希，奈美には側面的な支援を，また，その他にも数多くの方々のご理解と励ましを頂きました．

この様に多くの方々のご指導，ご協力や支えがあり，本論文の執筆を終えることができましたことをここに深く感謝いたします．

《 参考文献 》

《 参考文献 》

第1章

1. 2004/2005 シーズンスキー場傷害報告書, 全国スキー安全対策協議会, 2005.
2. 水沢利栄, 竹内繁幸: スキーヤーの対人衝突場面における過失割合に関する研究, 日本スキー学会誌, Vol. 3, No. 1, pp. 132-146, 1993.
3. 竹田唯史: 初心者指導における回転導入期の運動モルフォロジー (運動形態) 的考察・指導内容について, 日本スキー学会誌, Vol. 8, No. 1, pp. 103-107, 1998.
4. 塚脇誠: オーストリアスキーメソッドの指導方法論的一考察, 日本スキー学会誌, Vol. 8, No. 1, pp. 109-120, 1998.
5. 塚脇誠: 日本におけるカービングスキーの指導方法論的一考察, 日本スキー学会誌, Vol. 8, No. 1, pp. 121-132, 1998.
6. 袖山紘, 三浦望慶他: スキーターンと身体重心位置の関係, 総合保健体育 1, pp. 41-51, 1978.
7. 三浦哲, 三浦望慶, 下永田修二: カービングターン動作のキネマティクスからみた特徴, 日本スキー学会誌, Vol. 11, No. 1, pp. 152-163, 2001.
8. 鈴木義幸, 的場一彦他: 好きヤーにおける関節運動と筋収縮様式から見た下肢筋力, 日本スキー学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 103-117, 1996.
9. 加藤弘, 松岡勇二他: スキー実習中における血液成分の変化, 日本スキー学会誌, Vol. 3, No. 1, pp. 67-75, 1993.
10. 藤田吉昭, 長谷川健二他: スキー回転動作の制御ーブランクトップリフト・モデルについてー, 日本スキー学会誌, Vol. 3, no. 1, pp. 101-111, 1993.
11. 清水史郎, 村上利栄: アルペンスキーロボットの開発ー姿勢とスキーの

-
- 回旋，角付けとの関係一，姿勢研究，Vol. 5, No. 1, pp. 51-54, 1985.
- 1 2. 清水史郎，村上利栄：アルペンスキーロボットの開発一股関節の内転・外転と回旋の複合モデル一，日本スキー学会誌，Vol. 5, No. 1, pp. 107-113, 1995.
- 1 3. 清水史郎，村上利栄：アルペンスキーロボットの開発一膝関節（下腿）の内旋・外旋モデル一，日本スキー学会誌，Vol. 6, No. 1, pp. 140-147, 1996.
- 1 4. 清水史郎，村上利栄：アルペンスキーロボットの開発一股関節の回旋による連続自動回転モデル一，日本スキー学会誌，Vol. 7, No. 1, pp. 122-128, 1997.
- 1 5. 中野幸夫，多田憲孝：スキーロボットを用いたスキー操作の研究，スキー研究，Vol. 3, No. 1, pp. 23-30, 2005.
- 1 6. 天野秀久，大島義彦他：蔵王スキー場におけるスキー開放創の実態調査とその予防対策の検討，日本スキー学会誌，Vol. 3, No. 1, pp. 76-80, 1993.
- 1 7. 平上健，大島義彦他：蔵王スキー場における最近4年間のスキー外傷実態調査，日本スキー学会誌，Vol. 3, No. 1, pp. 82-86, 1993.
- 1 8. 松木達也，大島義彦他：スキー場における有床診療所の役割一蔵王診療所の3年間の診療結果から一，日本スキー学会誌，Vol. 3, No. 1, pp. 88-92, 1993.
- 1 9. 山岸恒雄，矢橋健一：『スキーと安全』 スキー医学の立場から，日本スキー学会誌，Vol. 3, No. 1, pp. 93-100, 1993.
- 2 0. 水沢利栄：スキーヤー・スノーボーダーの硬膜下血腫による死亡事故を防ぐ対策事例，日本スキー学会誌，Vol. 8, No. 1, pp. 191-198, 1998.

第2章

- 2 1. 福田廣夫他：荷重パターンからみたパラレルターンの検討（曲げ及び伸

-
- ばし押し出しについて), 日本体育学会第38回大会号, p. 284, 1987.
22. 福田廣夫他: 荷重パターンからみたウェーデルンの技術分析 (指導への展開のために), 日本体育学会第39回大会号, p. 284, 1988.
23. 芳賀武他: スキーにおける力学的研究, 日本体育学会第38回大会号, p. 666, 1987.
24. 堀田朋基他: アルペンスキーにおける不整地滑降の研究, 日本体育学会第38回大会号, p. 667, 1987.
25. 池田弘一他: 片足荷重による不整地滑降の検討, 日本体育学会第38回大会号, p. 288, 1987.
26. 原利昭他: 日常動作時における膝関節三次元運動解析, 日本機学会第69期全国大会講演会講演論文集, Vol. A, pp. 412-414, 1991.
27. 笹川和彦: 膝蓋大腿関節の接触圧力分布—膝関節運動及び脛骨結節浮上術に関連して—, 整形外科バイオメカニクス, Vol. 1, pp. 225-228, 1990.

第3章

28. 寺田賢治他: 阿波踊りの動作の定量化の試み, 画電学誌, Vol. 3, No. 3, pp. 220-227, 2005.
29. 近藤拓也他: 動画像からの動作感性情報の抽出, 信学論, J80-D-II, No. 1, pp. 247-255, 1997.
30. 瀧剛志他: チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用, 信学論, J81-D-II, No. 3, pp. 1802-1811, 1998.
31. 藤村光他: 優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価, 信学論, J87-D-II, No. 3, pp. 818-828, 2004.
32. 工藤孝幾: スポーツ心理学の立場から, スポーツ指導の基礎—諸スポーツ科学からの発信—, 永島惇正編, 生涯学習社会のスポーツ指導第1巻, 北樹出版, pp. 57-80, 2000.

-
33. 射手矢岬：ビデオフィードバックを利用したトレーニング，*体育の科学*，Vol. 53, No. 8, pp. 608-623, 2003.
34. 木村広他：時間遅れビデオシステム DVS の開発と応用，*バイオメカニズム学会誌*，Vol. 24, pp. 183-187, 2000.
35. ダートフィッシュ・ジャパン：ダートトレーナー，
<http://www.dartfish.co.jp/>，2005.
36. 滑りを瞬時に連続写真に！『SMPS』金子裕之キャンプ，*月刊スキーグラフィック*，ノースランド出版，2005年7月号，p. 156, 2005

第4章

37. Muller, E. & H. Schwameder : Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping, *J Sports Sci* , Vol. 21, No. 9, pp. 679-692, 2003.
38. 池上康男：スキーに関する研究動向と今後の展望—バイオメカニクス的研究—，*日本スキー学会誌*，Vol. 9, No. 2, pp. 63-67, 1999.
39. 牛山幸彦，原 利昭，寺島和浩：スキーのターン動作における下肢関節角度及び足底圧力変化について，*日本バイオメカニクス学会第11回大会論集*，pp. 310-314, 1991.
40. 寺島和浩，牛山幸彦，土屋裕治，清水雅晴：スキーのターン動作に伴う下肢の運動解析，*スポーツとヒューマン・ダイナミクスシンポジウム講演論文集*，pp. 29-31, 1992.
41. Tesch, P. A. : Aspects on muscle properties and use in competitive Alpine skiing, *Med Sci Sports Exerc* , Vol. 27, No. 3, pp. 310-314, 1995.
42. Clarys, J. P., Publie, J., Zinzen, E. : Ergonomic analyses of downhill skiing , *J Sports Sci* , Vol. 12, No. 3, pp. 243-250, 1996.
43. 木竜 徹，牛腸哲也，牛山幸彦：繰り返しスキー運動時での運動機能

-
- 変化過程の解釈, 第 15 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 139-142, 2000.
- 4 4. 橋本邦衛, 遠藤敏夫: 生体機能の見方ー人間工学への応用ー, 人間と技術社, pp. 22-77, 1973.
- 4 5. 木竜徹: 効果的なリハビリテーションの実現を目指した筋活動状態モニターシステムの開発, 医科学応用研究財団研究報告, Vo. 12, pp. 134-143, 1993.
- 4 6. 山田好秋: 筋の疲労及び疼痛, デンタルダイヤモンド, pp. 188-197, 1991.
- 4 7. 周起煥, 大西祥平他: サイクルエルゴメーター動作時の積分筋電図と心拍数の相互相関特性, 信学技報, MBE93-84, pp. 37-44, 1993.
- 4 8. 松川寛二: 運動時の交感神経活動と心臓・血管系調節, 日本 ME 学会専門別研究会『複数の生体信号の長時間無拘束計測と解析研究会』研究報告集, Vol. 1, No. 2, pp. 37-42, 1993.
- 4 9. Clarys, J. P., K. Alewaeters, Zinzen, E. : The influence of geographic variations on the muscular activity in selected sports movements, J. Electromyogr Kinesiol , Vol. 11, No. 6, pp. 451-457, 2001.
- 5 0. 石栗治郎, 木竜徹他: 動的運動時における下肢筋活動と心拍のR-R感覚との相関について, 信学技報, MBE-95-2, pp. 49-56, 1995.
- 5 1. 木竜徹, 牛腸哲也, 牛山幸彦: 繰り返しスキー運動時での運動機能変化過程の解釈, 第 1 5 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 139-142, 2000.
- 5 2. E. Jovanov, A. Lords, D. Raskovic, P. Cox, R. Adhami, & F. Andrasik : Stress monitoring using a distributed wireless intelligent sensor system, IEEE EMB Magazine, Vol. 22, No. 3, , pp. 49-55, 2003.
- 5 3. 牧川方昭, 西山健人, 伊坂忠夫, 浅瀧周造: 体調管理を目指したジョギング支援システム, 医用電子と生体工学, 42, p. 250, 2004,
-

-
- 5 4. 一関紀子：個人差を考慮した実用的疲労度評価法に関する研究，新潟大学大学院自然科学研究科博士論文，2000.

第5章

- 5 5. Hautala, A., M. P. Tulppo, Makikallio, T. H. Laukkanen, R. Nissila, S. Huikuri, H. V. : Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise, Clin Physiol, 21-2, , pp. 238-245, 2001.
- 5 6. 坂橋伸吉, 木竜 徹, 牛山幸彦：スキー運動時における各ターンでの運動機能の スナップショット評価, 第22回バイオメカニズム学会学術講演会論文集, pp. 27-30, 2001.
- 5 7. 坂橋伸吉, 木竜 徹, 牛山幸彦：スキー運動時における心拍変動と筋活動からみた運動機能変化の解析, 第17回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 145-146, 2002.
- 5 8. 青木航太, 木竜 徹：筋線維伝導速度推定における運動時の実用的電極貼付位置決定, ME とバイオサイバネティックス研究会, 信学技報, 103-327, pp. 51-56, 2003.
- 5 9. T. Kiryu, N. Motomiya, Y. Ushiyama, & M. Okada : Assessment of Functional Activities during Skiing Exercise, in Proc. The 12th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, pp. 203-204, 2000.
- 6 0. I. Brenner, S. Thomas, & R. Shephard : Autonomic Regulation of the Circulation During Exercise and Heart Exposure, Sports Med, pp. 85-99, 1999.
- 6 1. T. Kiryu, N. Motomiya, Y. Ushiyama, & M. Okada : Evaluation of Fatigue Using Heart Rate Variability And Myoelectric Signals During Skiing, in Proc. 21th Annu. Int. Conf. IEEE/EMBS, Atlanta, GA, p. 585, 1999.

-
- 6 2. T. Kiryu, T. Abe, T. Gocho, Y. Ushiyama, & M. Okada : Snapshot Evaluation of Fatigue during Skiing Exercise, in Proc. 20th Annu. Int. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, China, pp.2775-2778, 1998.
- 6 3. Paolo Bonato, Gianluca Gagliati, and Marco Knaflitz : Analysis of Myoelectric Signals Recorded During Dynamic Contractions, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol.15, No.6, pp.102-111, 1996.
- 6 4. 大谷和則, 木竜 徹, 斉藤義明 : 時間周波数帯域による周期運動時心拍変動の自律神経系成分の抽出, 電子情報通信学会論文誌, 81-D-II-2, pp.429-436, 1998.
- 6 5. M. Pagani, N. Montano, et al.: Relationship Between Spectral Components of Cardiovascular Variabilities and Direct Measures of Muscle Sympathetic Nerve Activity in Humans, Circulation, 95, pp.1441-1448, 1997.
- 6 6. J. Fagius, and C. Berne : Increase in muscle nerve sympathetic activity in human after food intake, Clinical Science, Vol.86, pp.159-167, 1994.

第6章

- 6 7. Davidson, T. M. & A. T. Laliotis : Alpine skiing injuries. A nine-year study, West J Med ,Vol.164, No.4, pp.310-314, 1996.
- 6 8. Muller, E. & H. Schwameder : Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping, J Sports Sci ,Vol.21, No.9, pp.679-692, 2003.
- 6 9. 清水史郎, 長谷川健二 : アルペンスキーロボットの開発—トップリフトによるモデル—, 日本スキー学会誌, Vol.2, No.1, pp.149-154, 1992.

-
70. J. V. Basmajian, C. J. De Luca : Muscle-Alive Their Function Revealed by Electromyography fifth edition, Williams & Wilkins, Baltimore, pp. 135-164, 1985.
71. 木竜 徹, 牛腸哲也, 牛山幸彦 : 繰り返しスキー運動時での運動機能変化過程の解釈, 第15回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 139-142, 2000.
72. P.O. オストランド, K. ラダール : 運動生理学, 大修館書店, 1976.

《 研究業績 》

《 研究業績 》

著 書

1. 小嶋武次, 葛西順一, 吉田和人, 竹内敏子, 牛山幸彦 (他 20 名)
卓球の授業, 平成 14 年 12 月発行 三恵社
2. 五十嵐久人, 岡野貴彦, 橋本修, 八坂剛史, 牛山幸彦 (他 4 名)
ゴルフスポーツ読本, 平成 15 年 4 月発行 亀田ブックサービス

原著論文

1. 牛山幸彦・千明 剛・村山敏夫・木竜 徹:
膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価
システム
平成 18 年 12 月発行 生体医工学, 43 巻 4 号 (印刷中)

国際学会発表

1. Yukihiro Ushiyama, Tohru Tamaki, Osamu Hashimoto, and Hisato Igarashi:
A proposal to measure the spin of a ball by digital image analysis,
The 8th International Table Tennis Federation Sports Science Congress & The
3rd World Congress of Science and Racket Sports, May 17-19, 2003, INSEP,
Paris
2. Toshio Murayama, Tohru Kiryu, and Yukihiro Ushiyama:
Variation of Muscle Activity Pattern between Actual and Simulated Ski Jumping,
XVth Congress of the International Society of Electrophysiology and

Kinesiology, June 18-21, 2004, Boston University, Massachusetts

3. Yukihiro Ushiyama, Hidaka Uchida, Tohru Tamaki, Akemi Suto, Hisato Igarashi,
and Osamu Hashimoto:

The Development of the Instant Tournament Charts Drawing System on the
Internet,

The 9th International Table Tennis Federation Sports Science Congress,
April 28-30, 2005, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai

その他の論文等

1. 牛山幸彦, 玉木徹, 橋本修, 五十嵐久人:

デジタル画像解析によるボールスピン量測定方法の提案,
平成14年12月発行 新潟体育学研究第20巻, 49~52頁に発表

2. 橋本修, 牛山幸彦, 五十嵐久人:

大学一般体育実技における運動量の推定 一カロリーカウンター(歩数
計兼備)測定による推定一
平成14年12月発行 新潟体育学研究第20巻, 3~8頁に発表

3. 牛山幸彦, 玉木徹, 五十嵐久人, 橋本修:

大学卓球背飲酒におけるトップスピン量の測定,
平成15年2月発行 新潟大学教育人間科学部紀要, 第5巻2号, 231
~236頁に発表

3. 牛山幸彦:

スポーツ学習系授業におけるビジュアル環境の整備,
平成17年3月発行 大学研究年報第10号, 27~32頁に発表

4. 千明 剛, 牛山幸彦, 木竜 徹:

フィールドにおける運動機能評価のためのユビキタスサービスをめざして、

平成17年5月発行 電子情報通信学会信学技報, 2005-05, 33-36 頁に発表

5. 玉木 徹, 牛山幸彦, 八坂剛史:

スポーツ選手技能向上のための動画像処理とその実用化,

平成17年11月発行 電子情報通信学会信学技報, 2005-11, 13-18 頁に発表

6. 鷺尾尚子, 橋本修, 五十嵐久人, 牛山幸彦 (他1名):

ホッケー競技におけるプッシュストローク動作のバイオメカニクスの解析,

平成17年10月発行 新潟体育学研究第23巻, 19~26 頁に発表

国内学会発表

1. 矢部里美, 牛山幸彦, 五十嵐久人, 橋本修, (他2名):

簡便な身体計測項目による内蔵脂肪面積推定式の作成およびその妥当性,
平成15年8月2-3日, 第11回日本運動生理学会大会, 中京大名古屋キャンパス

2. 村山敏夫, 青木航太, 牛山幸彦, 木竜徹:

スキージャンプ競技における心拍変動と筋活動様式の変化について,
平成15年8月2-3日, 第11回日本運動生理学会大会, 中京大名古屋キャンパス

3. 田中 洋, 加藤 直, 林 豊彦, 中村康雄, 牛山幸彦, 西野勝敏:

サッカーの In-step Kick における軸脚挙動の解析,
平成15年10月4-5日, 第24回バイオメカニズム学術講演会, 長

野市若里市民ホール

4. 牛山幸彦, 橋本修, 五十嵐久人, 杉本英夫, 山口勝巳 :
3ヶ月間の健康運動教室事業による活力年齢の変化,
平成16年7月31日-8月1日, 第11回日本運動生理学会大会, 順天堂大学
 5. 村山敏夫, 木竜徹, 牛山幸彦 :
スキージャンプ競技における筋電図を用いたコーチングの有効性,
平成16年7月31日-8月1日, 第11回日本運動生理学会大会, 順天堂大学
 6. 田中 洋, 林 豊彦, 中村康雄, 牛山幸彦 :
インステップキックにおける軸足挙動の運動学的・動力的解析,
平成16年9月24-26日, 日本体育学会第55回学会大会, 信州大学
 7. 牛山幸彦, 木竜徹, 青木航太, 坂橋伸吉 :
心拍変動と筋活動による繰り返しスキー運動時の運動機能計測・評価法
平成16年9月29-30, 日本ME学会生体医工学シンポジウム, 北大
 8. 瀧澤良司, 玉木徹, 山本正信, 斎藤克也, 八坂剛史, 牛山幸彦 :
バレーボールのスパイク速度計測システム開発,
平成16年10月2-3日, 電子情報通信学会信越支部大会, 信州大学
 9. 橋本雄二, 牛山幸彦, 五十嵐久人, 中村康雄, 林 豊彦 :
加速度センサを用いたゴルフスイングの運動学的解析,
平成16年10月23-24日, 日本バイオメカニズム学術講演会, 神奈川工科大学
 10. 青木航太・木竜徹・牛山幸彦 :
計測・解析機能分散型支援システムによる運動機能評価,
平成16年10月23-24日, 日本バイオメカニズム学術講演会, 神奈川工科大学
-

-
- 1 1. 田中洋, 林豊彦, 中村康雄, 牛山幸彦, 橋本修 (他 3 名) :
軸脚足関節モーメントによるインステップキック動作の評価,
平成 16 年 10 月 23 日, 新潟県体育学会平成 16 年度大会, 新潟大学
 - 1 2. 鷲尾尚子, 牛山幸彦, 五十嵐久人, 橋本修, 田中洋 :
ホッケー競技におけるプッシュストローク動作のバイオメカニクスの解
析,
平成 16 年 10 月 23 日, 新潟県体育学会平成 16 年度大会, 新潟大学
 - 1 3. 村山敏夫, 木竜 徹, 牛山幸彦, 青木航太 :
オンサイトでの生体情報フィードバックのコーチングへの効果,
平成 16 年 11 月 1~3 日, 生体生理工学シンポジウム, 大阪大学
 - 1 4. 青木航太・木竜徹・牛山幸彦 :
運動機能評価のための計測・解析機能分散型支援システムの開発,
平成 16 年 11 月 1~3 日, 生体生理工学シンポジウム, 大阪大学
 - 1 5. 馬場裕子, 牛山幸彦, 村山敏夫, 千明 剛, 木竜 徹 :
心拍変動からみた繰り返しスキー運動時における休息期の評価,
平成 17 年 5 月 25-27, 第 5 回計測自動制御学会制御部門大会, 東北
大学
 - 1 6. 村山敏夫, 牛山幸彦, 千明 剛, 木竜 徹 :
高齢者の筋力トレーニングにおける表面筋電図などの生体情報の活用,
平成 17 年 9 月 5-7, 日本 ME 学会専門別研究会生体信号計測・解釈研
究会, 法政大学
 - 1 7. 牛山幸彦・千明 剛・村山敏夫・木竜徹 :
膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価システ
ム,
平成 17 年 9 月 27-28 日, 生体医工学シンポジウム, 大阪大学
 - 1 8. 村山敏夫・金澤克彦・上村晃一・牛山幸彦 :
-

病院が取り組む予防医療と健康づくりの可能性,

平成17年10月22日, 新潟県体育学会平成17年度大会, 新潟大学

19. 玉木 徹・牛山幸彦・八坂剛史:

スポーツ選手の技能向上のための動画像処理とその実用化,

平成17年11月17-18日, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 広島市立大

20. 木竜 徹, 牛山幸彦, 千明 剛, 村山敏夫: 長時間でのスキー運動時の筋疲労を探索,

平成17年11月26-27日, 第8回日本電気生理運動学会, 川崎医療福祉大学

21. 橋本雄二, 牛山幸彦, 五十嵐久人, 中村康雄, 林豊彦:

加速度センサを用いたゴルフスイング技術の解析法,

平成17年11月23-26日, 日本体育学会第56回大会, 筑波大学