

スポーツ研究センター紀要

第11号

2026年 3月

追手門学院大学

OTEMON GAKUIN UNIVERSITY

JOURNAL OF SPORTS RESEARCH CENTER

No. 11

March 2026

Articles

- Simple Physical Fitness Tests Do Not Correlate with Base-Running Performance
in Male College Baseball Players
..... Azusa UEMATSU, Takuya MAGOME, Eiji CHIBA
..... Juri TATSUMI, Yoshihiro TATSUMOTO 1
- Development of a Template-Based Data Extraction System for Handling Data
from Large-Scale Assessments by Sports Organizations
..... Yuki HAYASHI 9
- Changes in Physical Fitness, Leg Muscle Mass, and Arterial Stiffness in Older Adults Participating in
Intermittent Weekly Group Exercise Training:
A 3-Year Longitudinal Study
..... Takeshi MATSUI, Yuki HAYASHI, Juri TATSUMI 25

SPORTS RESEARCH CENTER

OTEMON GAKUIN UNIVERSITY

1-1, Odatoshibacho, Ibaraki, Osaka, 567-8620 Japan

追手門学院大学

スポーツ研究センター紀要

第11号

2026年3月

論文

簡便な体力テストは大学生男子野球選手のベースランニングタイムと関連しない

.....植松 梓・馬込卓弥・千葉英史 1
巽 樹理・辰本頼弘

スポーツ団体による大規模測定に伴うデータハンドリングのための
テンプレート型データ抽出システムの開発

.....林 勇樹 9

週1回の集団エクササイズトレーニングに断続的に参加する
高齢者の体力, 脚筋肉量, 動脈ステイフネスの変化
— 3年間の縦断的検討 —

.....松井 健・林 勇樹・巽 樹理 25

論 文

簡便な体力テストは大学生男子野球選手の ベースランニングタイムと関連しない

植松 梓*
追手門学院大学

馬込 卓弥
追手門学院大学
大阪大学大学院
医学系研究科

千葉 英史
追手門学院大学

巽 樹理
追手門学院大学

辰本 頼弘
追手門学院大学

Simple Physical Fitness Tests Do Not Correlate with Base-Running Performance in Male College Baseball Players

Azusa UEMATSU*
Otemon Gakuin University

Takuya MAGOME
Otemon Gakuin University
Graduate School of Medicine,
Osaka University

Eiji CHIBA
Otemon Gakuin University

Juri TATSUMI
Otemon Gakuin University

Yoshihiro TATSUMOTO
Otemon Gakuin University

Abstract

The purpose of this study was to examine the relationships between total base-running time over one full lap, split lap times between bases, and simple physical fitness tests in male college baseball players. Eighteen male college baseball players (age: 18-22 y) performed a full-lap base-running test on a regulation baseball field. Total running time and split lap times between bases were measured using photocell timing gates. Physical fitness assessments included handgrip strength, standing long jump, pro-agility test, and standing forward-bending. Pearson's correlation coefficients were calculated to examine the relationships between base-running performance and physical fitness measures. Total base-running time showed strong positive correlations with all split lap times between bases ($r = 0.84-0.91$, $P < 0.01$). Significant correlations were also observed among split lap times ($r = 0.58-0.80$, $P < 0.05$). However, no significant correlations were found between total or split base-running times and any physical fitness test variables ($|r| = 0.01-0.34$, $P > 0.05$). These findings indicate that base-running performance over one full lap in male college baseball players cannot be adequately explained by simple physical fitness

*責任著者：植松 梓，追手門学院大学，a-uematsu@haruka.otemon.ac.jp

Corresponding Author : Uematsu Azusa, Otemon Gakuin University, a-uematsu@haruka.otemon.ac.jp

tests. Therefore, base-running performance in male college baseball players appears to be more strongly determined by sport-specific skills, such as the modulation of whole-body movement during curved running and the optimization of running lines.

キーワード：野球，ベースランニング，スプリントパフォーマンス，敏捷性，基礎体力

Keywords：baseball, base running, sprint performance, agility, physical fitness

緒言

野球競技におけるベースランニングは打撃や守備と並ぶ基本技能の一つであり，試合中の進塁および得点機会に直接的な影響を及ぼす重要な要素である．特に長打時の走塁では，走行速度のみならず，塁間の加速および減速，曲線走，塁に触れる動作，および方向転換を含む複合的な運動遂行能力が要求される．このような背景から，走塁能力を客観的に評価しその規定要因を明らかにすることは，競技力向上およびトレーニング設計の観点から重要な課題と言える．

アスリートの走行において，下肢筋力や筋パワーといった体力的要因がスプリント力の規定因子となることが報告されている¹⁾．これまでの野球の走塁研究では，本塁から1塁までの到達タイムを指標とした研究が多数報告されてきた．そして，本塁からファールラインまでの加速度の高さが1塁に早く到達するために重要であること²⁾や，プライオメトリクストレーニングによって少年野球選手の1塁到達タイムが短縮すること³⁾などが明らかにされている．しかし，本塁から1塁までの走塁は，競技中における走塁局面の一部に過ぎず，複数塁をまたぐ走塁やベース1周の走塁は十分に研究されているとは言い難い．特に，野球選手と陸上競技選手のベースランニング動作を比較した研究では走行様式や運動特性に明確な競技特性の違いがあり，野球における走塁は単なるスプリント能力だけで決定されない可能性が示されている⁴⁾．

小学生男子野球選手を対象とした研究では，立ち幅跳び，握力，方向転換能力といった基礎体力とベース1周および塁間のランニングタイムとの間に有意な関連が認められており⁵⁾，発育段階においては体力要因が走塁パフォーマンスに強く寄与する可能性がある．一方で，大学野球選手を対象とした研究では，本塁から2塁までの走塁タイムが，単純な直線スプリント能力のみではなく走行経路や塁間における速度変化の影響を受けることが

示されている⁶⁾．つまり，複数塁をまたぐ走塁は体力的要素と走塁の技術的要素で規定される複合的パフォーマンスであると考えられる．

1周のベースランニングには複数回の曲線走が含まれる．曲線走中は，身体に生じる遠心力に対応するための下肢関節運動調整の必要性が要因となり，直線走と比較して最大走速度が制限されることが報告されている⁷⁾．さらに，曲線走中は左右脚の機能が異なり⁸⁾，両脚間で力発揮パターンが非対称になることが明らかにされている⁹⁾．また，サッカー選手を対象とした研究においても，曲線走能力は直線スプリント能力や跳躍能力と必ずしも強く関連しないことが報告されている¹⁰⁾．

アスリートの方向転換能力はアジリティテストで評価される．しかし，アジリティテストは直線スプリント能力の影響が強く反映されるため，方向転換能力と直線スプリント力を分けて評価する必要性が指摘されている¹¹⁾．さらに，一般的なアジリティテストは競技の動作特性を十分に反映しない可能性も指摘されている^{12, 13)}．野球の走塁における方向転換は急激な切り返し動作ではないが，なだらかな曲線走でもない．したがって，複数塁の走塁能力と方向転換能力がどの程度関連するかは現時点では不明である．

2塁までの走塁には直線のスプリント能力だけでなく，走塁技術も影響する⁶⁾ため，1周のベースランニングでは体力的要素あるいは技術的要素のどちらかの影響がさらに大きくなる可能性がある．しかし，ベースランニング1周の時間的評価と簡便な体力テストとの関連は少年野球選手では調査されている⁵⁾ものの，身体的に成熟した野球選手ではこれまでに検討されていないのが現状である．この点が明らかになれば，選手の発育段階に応じた走塁パフォーマンス向上のための要因を定量的に示すことができる．そこで本研究は，大学生男子野球選手を対象として，ベースランニング1周の総時間および塁間ラップタイムと簡便な体力テストとの関連を検討することで，複数塁の走塁パフォーマンスにおける行動的

メカニズムを明らかにすることを目的とした。本研究では、光電管を用いてベースランニング1周の総時間および塁間ラップタイムを測定し、立ち幅跳び、プロアジリティテスト、握力、立位体前屈との関連を検討する。本研究の作業仮説は、走塁の時間的評価は下肢の瞬発力および敏捷性を反映する体力テスト結果とある程度の強さの有意な関連を示すものとした。

方法

被験者

被験者は大学の野球部に所属する男子選手18名（年齢：18-22歳）とした。実験に参加する前に全ての被験者に対して研究目的を口頭と書面で説明し、書面にてインフォームドコンセントを得た。本研究の実験手順は、追手門学院大学研究倫理審査委員会から事前に実施の承認を得た（承認番号2022-10）。

ベースランニングタイムの計測

公式規定に基づき、各塁間を27.431mに設定して測定を行った。走行中のズレを防ぐため、各ベースは専用の器具で地面に固定した。各塁の中央地点を通過する際のタイムを記録するため、4組の光電管（Witty, Microgate, アメリカ）を配置した。この際、選手の走行を妨げないように、光電管のユニット間には十分な距離を確保した。タイムは100分の1秒単位で集計した。被験者は本塁から1周の全力疾走を2回行い、試技の間には5分以上のインターバルを設けた。2回の試技のうち、最短のタイムを分析対象とした。

体力テスト

野球の走塁には、爆発的な加速力に加えて、精度の高いコーナリングを可能にする敏捷性が不可欠である。そこで、全身の筋量と瞬発力の指標として握力および立ち幅跳び¹⁴⁾を測定項目に含めた。また、敏捷性を評価するために側方へのプロアジリティテストを採用した¹⁵⁾。さらに、少年野球選手の投球能力と柔軟性の関連性¹⁶⁾を踏まえ、柔軟性の評価として立位体前屈を採用した。

握力はスメドレー式握力計（TKK5401, 竹井機器工業株式会社, 日本）を使用して計測した。握力計のグリップを被験者ごとに最適な幅に調整し、直立姿勢で握力を測定した。握力測定は左右各2回ずつ実施し、それぞれの最大値を抽出して分析に用いた。評価は0.1kg単

位とした。

立ち幅跳びは平坦な地面の上で実施した。被験者に、開始線につま先を合わせた状態から前方へ最大限跳躍させた。5mの巻尺を用い、踏切線から着地した踵の後端までの距離を2名の測定者が目視で確認した。2回の試技のうち、より遠くへ跳んだ記録を分析対象とした。評価は100分の1m単位とした。

プロアジリティテストは側方プロアジリティテストを実施した。基準線から左右に5m離れた場所に基準線と平行のラインを引き、基準線通過時に光電管が作動するように設置した。被験者は中央から左右いずれかの方向へ5m走り、ラインに触れた、または超えた直後に反転して反対側のラインまで10m疾走し、再度反転して中央の基準線を通るまでの時間を計測した。左開始と右開始をそれぞれ2回行い、最速の記録を評価対象とした。評価は100分の1秒単位とした。

立位体前屈は高さ45cmのプライオボックス（3833A791, 株式会社ニシ・スポーツ, 日本）を用いて測定した。被験者にボックス上面でつま先を端に合わせ、膝を曲げずに上体を深く前傾させ、指先を出来る限り下方に到達させた。被験者の指先が停止した位置とボックス上面との距離を定規で計測し、上面より下方の場合はプラス、上方の場合はマイナスの値として記録した。2回の試技のうち、より柔軟性の高い数値を採用した。評価は10分の1cm単位とした。

データ分析および統計分析

ベースランニングは、1周の総時間および各区分（本塁-1塁, 1塁-2塁, 2塁-3塁, 3塁-本塁）のラップタイムを算出した。握力は左右の平均値を、プロアジリティテストは左右開始試技の平均値をそれぞれ代表値とした。

全ての評価指標についてShapiro-Wilk検定によってデータの正規性を検討した。塁間のラップタイムについて、隣接する区分とのタイムをボンフェローニ法で有意水準を補正した対応のあるt検定を用いて比較した。各測定項目間の関連性は、ピアソンの積率相関係数を用いて評価した。相関係数の強さはHopkins et al. (2009)に準じた¹⁷⁾。解析には統計ソフトSPSS (version 27, IBM, アメリカ)を使用し、有意水準は $P < 0.05$ とした。

結果

Shapiro-Wilk 検定の結果, 1 週の総時間 ($W = 0.899$, $P = 0.054$), ラップタイム (本塁-1 塁: $W = 0.908$, $P = 0.081$; 1 塁-2 塁: $W = 0.934$, $P = 0.226$, 2 塁-3 塁: $W = 0.959$, $P = 0.573$; 3 塁-本塁: $W = 0.951$, $P = 0.437$), 握力 ($W = 0.963$, $P = 0.653$), 立ち幅跳び ($W = 0.981$, $P = 0.961$), 立位体前屈 ($W = 0.947$, $P = 0.377$), およびプロアジリティ ($W = 0.960$, $P = 0.593$) の全ての評価指標において正規性は棄却されなかった。そのため, 全ての評価指標を平均値と標準偏差で表した。

ベースランニングタイム

ベースランニングタイムの結果を表1に示す。本塁-1 塁と比べ, 1 塁-2 塁のラップタイムは有意に短かった ($P = 0.021$, $d = 0.66$)。1 塁-2 塁と比べ, 2 塁-3 塁のラップタイムは有意に長かった ($P < 0.01$, $d = 0.88$)。2 塁-3 塁と 3 塁-本塁のラップタイムに有意差は認められなかった ($P = 0.225$, $d = 0.33$)。

表 1. ベースランニングの総時間および塁間のラップタイム (秒)

	1周	本塁-1塁	1塁-2塁	2塁-3塁	3塁-本塁
平均値	16.03	4.04	3.93*	4.05†	4.01
標準偏差	0.50	0.18	0.15	0.12	0.12

*: 直前の塁間のラップタイムよりも短い, $P < 0.05$
 †: 直前の塁間のラップタイムよりも長い, $P < 0.01$

体力テスト

表2に体力テストの結果を示す。

表 2. 体力テスト結果

	握力, kg	立ち幅跳び, m	プロアジリティ, 秒	立位体前屈, cm
平均値	43.1	2.32	5.40	7.3
標準偏差	0.9	0.05	0.03	1.0

ベースランニングの総時間および塁間ラップタイムの相関係数

表3にベースランニングの総時間および塁間ラップタイムの相関係数を示す。ベースランニングの総時間と各

塁間ラップタイムとの間には, いずれも有意な非常に強い正の相関が認められた ($r = 0.84-0.91$, $P < 0.01$)。各塁間ラップタイムの間には有意な強いおよび非常に強い正の相関が認められた ($r = 0.58-0.80$, $P < 0.05$)。

表 3. ベースランニングの総時間および塁間ラップタイムの相関係数

	本塁-1塁	1塁-2塁	2塁-3塁	3塁-本塁
1塁-2塁	0.60**			
2塁-3塁	0.71**	0.80**		
3塁-本塁	0.58*	0.70**	0.72**	
1周	0.86**	0.89**	0.91**	0.84**

*, **: $P < 0.05$, 0.01

体力テストの指標間の相関係数

表4に体力テストの指標間の相関係数を示す。握力と立ち幅跳びの間には有意な強い正の相関が認められた ($r = 0.67$, $P = 0.002$)。その他の指標間には有意な相関関係は認められなかった。

表 4. 体力テストの指標間における相関係数

	握力	立ち幅跳び	プロアジリティ
立ち幅跳び	0.67**		
プロアジリティ	0.05	-0.33	
立位体前屈	0.25	0.02	0.04

** : $P < 0.01$

ベースランニングタイムと体力テストの指標間の相関係数

表5にベースランニングタイムと体力テストの指標間の相関係数を示す。それぞれの指標間において有意な相関関係は認められなかった。

表 5. ベースランニングタイムと体力テストの指標間の相関係数

	1周	本塁-1塁	1塁-2塁	2塁-3塁	3塁-本塁
握力	0.14	0.18	0.13	0.18	-0.01
立ち幅跳び	-0.18	-0.18	-0.24	-0.07	-0.11
プロアジリティ	0.26	0.25	0.27	0.34	0.02
立位体前屈	0.08	-0.02	0.11	0.15	0.08

考察

本研究は、日本の大学生男子野球選手を対象として、ベースランニング1周の総時間および各塁間ラップタイムと簡便な体力テストとの関連を調査した。その結果、ベースランニング1周の総時間と各塁間のラップタイムには有意な正の相関が認められたが、走塁タイムと関連があると想定した基礎体力とは有意な関連が認められなかった。この結果は本研究の作業仮説を支持しないものであった。

1周のベースランニングにおける各塁間のラップタイムについて、本塁-1塁よりも1塁-2塁の方が短かった(表1)。このことは、本塁-1塁の走塁は静止した状態から開始されるため1塁-2塁のラップタイムよりも遅かったと説明できる。2塁-3塁のラップタイムは1塁-2塁のラップタイムよりも長かった(表1)。これは、3塁到達までの運動時間が10秒を超えていたことから、無酸素性のATP供給の低下によるパワー発揮の低下¹⁸⁾が影響していた可能性が高い。そして、ベースランニングの進行とともにパワー発揮の低下が進むにもかかわらず2塁-3塁と3塁-本塁のラップタイムが同程度になったことは、本塁へ帰還する際は塁を回る技能発揮が不要になることが影響していると考えられる。これらのように、本研究の走塁タイムに見られた特徴は基礎的な運動学と生理学の知見から説明できるため、本研究の1周のベースランニングは典型的なデータセットであると捉えられる。

側方プロアジリティテストはスポーツ庁の体力テスト項目に含まれていないため比較できないが、本研究に参加した被験者は20-24歳の平均的なデータ¹⁹⁾と比較すると、やや柔軟性が低い握力と立ち幅跳びは遜色がなかったと言える(表2)。このような被験者において、1周のベースランニングの総時間は各塁間のラップタイムと有意な非常に強い正の相関があった(表3)。また、各塁間のラップタイムに有意な強いおよび非常に強い正の相関があった(表3)。このことから、ベースランニングが速い選手は特定の塁間が速いのではなく各塁間全般的に速いと言える。そして、握力と立ち幅跳びには有意な強い相関があったが、その他の項目間には関連が認められなかった(表4)。したがって、筋力・瞬発力と方向転換能力および柔軟性の指標は独立していると考えられる。これらの結果に基づくと、ベースランニングタ

イムと関連する基礎体力が存在する可能性が十分に推察される。しかし、本研究の結果において、これらの間に有意な相関が認められなかった(表5)。

立ち幅跳びは下肢の瞬発力を反映する代表的な体力指標であり、直線スプリント能力との関連が報告されている¹⁾。そのため、本研究においても立ち幅跳びと走塁タイムとの関連を予測したが有意な関連は認められなかった(表5)。ベースランニングには直線走だけでなく曲線走が含まれる。この曲線走では、身体に生じる遠心力に対応するための下肢関節運動の調整が必要となること⁷⁾、ならびに曲線走中の左右脚の力発揮様式は直線スプリントとは異なることが報告されている^{8, 9)}。これらの知見を踏まえると、身体的に成熟した野球選手におけるベースランニング1周のパフォーマンスは、下肢の瞬発力よりも曲線走に対応する運動調整能力を含んだ走塁技術に依存する割合が大きいと考えられる。また、本研究で立ち幅跳びと走塁パフォーマンスとの関連が認められなかった結果は、サッカー選手において曲線走能力が垂直跳びや直線スプリント能力と必ずしも強く関連しないことを報告した研究¹⁰⁾と矛盾しない。

本塁から2塁までの走塁を対象とした先行研究では、走塁タイムが単純な直線速度ではなく、走行経路や塁間における速度変化の影響を受けることが示されている⁶⁾。つまり、複数塁をまたぐ走塁は、基礎体力だけでなく、塁を回る際の減速および再加速と塁に触れる動作を最適化するための走塁経路選択と走塁技術を含む複合的なパフォーマンスである。本研究で取り扱った1周のベースランニングは2塁走をさらに拡張した運動課題であるため、減速および再加速の回数と塁に触れる動作の影響が一層大きくなる可能性が高い。そこで本研究では、方向転換能力の影響が反映される左右方向へのプロアジリティテストを実施した。その結果、左右方向へのプロアジリティテストは他の体力テスト項目よりもベースランニングタイムとの関連が強かったが、有意な相関は認められなかった(表5)。プロアジリティテストは、方向転換能力を評価する代表的指標であり、競技パフォーマンスとの関連が報告されている²⁰⁾。しかし、方向転換能力は課題特異性が高く、一般的なテストが競技中の動作特性を必ずしも反映しないことが指摘されている¹¹⁻¹³⁾。ベースランニングは、急激な切り返し動作ではなく比較的緩やかな曲線走が含まれる。この点で、180°の方向転換を含むプロアジリティテストは走塁の動作特

性と一致していない。つまり、走塁の動作特性が反映されるようなフィールドテストが開発されれば、簡便に走塁能力を精度よく予測できる可能性がある。

小学生男子野球選手では、ベースランニングタイムと立ち幅跳びおよびプロアジリティテスト間に中程度から非常に強い相関が認められた⁵⁾。つまり、発育段階では瞬発力や方向転換能力といった基礎体力が走塁パフォーマンスに強く影響すると言える。しかし、身体的に成熟した大学生男子野球選手ではこのような相関は認められなかった(表5)。したがって、大学生男子野球選手は体力水準が一定程度に達しているため、基礎体力だけでは走塁パフォーマンスが決定されず、走塁経路や走塁技術⁶⁾の影響が強くなると考えられる。これらをまとめると、野球選手の身体の発達段階に応じて走塁パフォーマンスを高めるための要点が異なると言える。しかし、曲線走^{7,9)}や2塁までの走塁⁶⁾を対象とした運動学・運動学的研究のように選手の走塁パフォーマンスを評価するには専門的な機材と知識が必須であり、選手や指導者だけでは走塁のパフォーマンス評価が難しいという問題がある。この点からも、簡便かつ走塁能力を精度よく評価できるフィールドテストの開発は解決されるべき重要な課題に位置づけられる。

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、対象者数が限定的であり、ポジション別、競技歴、走塁経験の違いを十分に考慮できていない。第二に、体力テストとして簡便な指標を採用したため、下肢筋力や神経筋制御の特性が直接的に評価されていない。そして第三に、ベースランニング中の走行経路や塁に触れる動作といった技術的要因を定量的に評価していない。これらの点についてはさらなる研究が必要である。

結論

本研究は、日本の大学生男子野球選手において、ベースランニング1周の総時間および塁間ラップタイムが簡便な体力テスト結果と有意な関連を示さないことを明らかにした。この結果は、身体的に成熟した選手の走塁パフォーマンスは、基礎体力よりも走塁における特異的な技術的要因に強く依存している可能性を示すものである。今後は、走塁の技術的要因を評価可能なフィールドテストの開発が望まれる。

謝辞

本研究のデータ収集にご協力頂いた選手、チームスタッフの方々に心より御礼申し上げます。本研究は追手門学院大学2022年度プロジェクト型共同研究奨励費制度(タイプA)P奨A22-04の助成を受けたものです。

利益相反

本研究の全ての内容に対して利益相反はない。

参考文献

- 1) Cronin JB, Hansen KT (2005) Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (2) : 349-357.
- 2) Coleman AE, Amonette WE (2012) Pure acceleration is the primary determinant of speed to first base in Major League Baseball game situations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (6) : 1455-1460.
- 3) García Ponce de León A, Carreño Vega JE, Aranda Fernández AE (2019) Combined training of plyometric-speed for enhancing home-first base race of baseball players, junior category. *International Journal of Sports Science and Physical Education*, 4 (3) : 42-48.
- 4) Miyaguchi K, Demura S, Nagai K, Uchida Y (2011) Comparison of base running in baseball players and track-and-field athletes. *Health*, 3 (1) : 26-31.
- 5) 植松 梓, 馬込 卓弥, 千葉 英史, 松山 博明, 佐藤 哲史ら (2023) 小学生男子野球選手のベースランニングタイムと体力テストとの関連. *追手門学院大学スポーツ研究センター紀要*, 9 : 1-9.
- 6) 今若 太郎, 谷中 拓哉, 角田 直也 (2025) 大学野球選手における本塁から2塁への走塁経路と疾走タイムの関係. *体育学研究*, 70 : 91-102.
- 7) Chang YH, Kram R (2007) Limitations to maximum running speed on flat curves. *Journal of Experimental Biology*, 210 (6) : 971-982.
- 8) Alt T, Heinrich K, Funken J, Potthast W (2015) Lower extremity kinematics of athletics curve sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 33 (6) : 552-560.
- 9) Churchill SM, Trewartha G, Bezodis IN, Salo AIT

- (2016) Force production during maximal effort bend sprinting: Theory vs reality. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26 (10) : 1171-1179.
- 10) Loturco I, Pereira LA, Filter A, Olivares-Jabalera J, Reis VP, et al. (2020) Curve sprinting in soccer : relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biology of Sport*, 37 (3) : 277-283.
- 11) Nimphius S, Callaghan SJ, Spiteri T, Lockie RG (2016) Change of direction deficit : A more isolated measure of change of direction performance than total 505 time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (11) : 3024-3032.
- 12) Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ (2001) Specificity of sprint and agility training methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (3) : 315-319.
- 13) Young WB, Miller IR, Talpey SW (2015) Physical qualities predict change-of-direction speed but not defensive agility in Australian rules football. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (1) : 206-212.
- 14) Castro-Piñero J, Ortega FB, Artero EG, Girela-Rejón MJ, Mora J, et al. (2010) Assessing muscular strength in youth : Usefulness of standing jump as a general index of muscular fitness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (7) : 1810-1817.
- 15) Young W, Farrow D (2006) A review of agility : Practical applications for strength and conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 28 (5) : 24-29.
- 16) 長谷川 恭一, 木勢 千代子, 山形 沙穂, 森田 真純, 中村 睦美 (2013) 地域少年野球における投能力と体格, 体力, 運動能力の関連について. *理学療法学*, Supplement, 40 (2) : S-A 運動 -027.
- 17) Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41 (1) : 3-13.
- 18) Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH (1998) Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163 (3) : 261-272.
- 19) スポーツ庁 (2023) 令和4年度 体力・運動能力調査 年齢別テスト結果 .e-Stat, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/> (参照日 : 2026年1月29日).
- 20) Sheppard JM, Young WB (2006) Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24 (9) : 919-932.

論文

スポーツ団体による大規模測定に伴うデータハンドリングのための
テンプレート型データ抽出システムの開発林 勇 樹*
追手門学院大学Development of a Template-Based Data Extraction System for Handling Data
from Large-Scale Assessments by Sports OrganizationsYuki HAYASHI
Otemon Gakuin University

Abstract

Sports organizations increasingly conduct large-scale physical assessments to support athlete development and to build longitudinal datasets. While competition results are often captured digitally, newly designed assessments frequently rely on paper forms filled by hand at the venue, which leads to substantial post-event data entry workload and delayed feedback. This paper reports the development of a template-based data extraction system that supports end-to-end handling of such paper-based measurements, from reception and form issuance to OCR-assisted digitization, validation, and result return. The system consists of (i) an on-demand form generation and printing module that assigns an unpredictable GUID and prints it as a QR code, (ii) a browser-based OCR module that performs homography-based alignment using corner L-markers and a SafeZone-constrained Hough line detector implemented with OpenCV.js, (iii) cell-wise single-digit recognition using the GPT-4o vision API with configurable parallelism, and (iv) server-side validation, storage, and web-based feedback. We describe design choices made under field constraints, including a one-digit-per-cell form layout, a JSON-based region template with adjustable padding, and a generalized mechanism to reconstruct multi-cell values using group identifiers. Development was iterative and time-constrained because operational changes become difficult once large-scale measurement events start; large language models were used as a development aid for rapid integration across heterogeneous components, with human review at each iteration. Operational logs from multiple events were analyzed to characterize throughput and registration delays under different collection modes (on-site scanning vs. postal submission). The contribution of this work is not a new OCR algorithm but a practical integration pattern and operational knowledge for deploying template-based extraction in sports assessments.

*責任著者：林 勇樹，追手門学院大学，yu-hayashi@otemon.ac.jp

Corresponding Author：Hayashi Yuki, Otemon Gakuin University, yu-hayashi@otemon.ac.jp

キーワード：OCR, テンプレート, 測定シート, データハンドリング, スポーツ団体, 大規模言語モデル

Keywords : OCR, template-based extraction, measurement form, data handling, sports organization, large language model

緒言

スポーツ団体では、競技会における記録や順位のように、電子計時・電子掲示・計測機器の仕様によりデータ形式が規定されている情報は、過去のデジタル基盤整備により比較的管理しやすい。その結果、全国規模の横断データや複数年にわたる縦断データの収集が容易になっている例が多い。

一方で、国内競技団体（National Federation：NF）が競技者の特性を把握する目的で新たな測定を企画する場合、既存システムを流用できないことがある。測定機器や測定会場の整備、測定員の育成に加え、測定値の取りまとめと管理、ならびに被測定者への即時性のあるフィードバックが運用上の課題となる。特に、測定会が開始された後に記入フォーマットや業務手順を変更することは困難であり、限られた準備期間で運用に耐えるワークフローを確立する必要がある。

本研究では、段階的に測定時の記入シートとデータ収集方法を更新しながら、大規模測定における受付から結果返却までのデータハンドリングを支える技術基盤を開発した。中心となる課題は、①測定現場での追加作業を最小化しつつ、②手書きで記入された測定値を安定的にデジタル化し、③エラー検出と確認を行い、④結果を迅速に返却することである。

研究目的

本研究の目的は、スポーツ団体による大規模測定において、紙ベースの手書き測定シートを前提としながら、データの一元的収集と結果返却を可能にするテンプレート型データ抽出システムを設計・実装し、運用ログに基づいて実用性を検討することである。

なお、同日開催の複数会場での並列運用は現時点では少ないが、将来の運用形態や会場分散を想定し、複数会場での処理集中が起り得る状況でも破綻しにくい構成を目指した。

関連研究

手書き帳票のデータ抽出は、帳票の幾何補正と項目領

域の切り出し、ならびに文字認識を組み合わせることで実現されることが多い。幾何補正では、線分検出の代表的手法である Hough 変換¹⁾ や、射影変換（ホモグラフィ）²⁾ に基づく整列が用いられる。本研究でも、四隅の L 字マークから基準点を推定し、ホモグラフィで座標系を正規化した上で、テンプレートで定義された領域を切り出す方式を採用した。

文字認識については、従来から Tesseract に代表される OCR エンジン³⁾ が広く利用されている。一方で、本研究の対象である測定シートは「1マス1文字（数字）」という制約を設計段階で導入できるため、単語認識よりも単一文字分類に近い問題設定となる。本研究では、単一数字に特化したプロンプト設計により、汎用視覚モデル（GPT-4o）を OCR として利用した⁴⁾。

本研究に先立ち、ブラウザ内で完結する軽量 OCR（例：Tesseract.js）や、TensorFlow.js 等を用いた小型 CNN による数字分類も検討対象とした。しかし、測定会場で得られるスキャン画像は、紙の汚れ、コピー機由来の影、傾き・台形歪みなどの変動が大きく、一般的な OCR エンジンでは予備検証の段階で十分な認識精度が得られなかった。また、小型モデルを採用する場合は、帳票・筆跡・スキャン条件に合わせた学習データの収集と再学習が必要となり、限られた準備期間で運用に投入するには負担が大きい。そこで本研究では、単一数字に特化した制約（1マス1数字）と前処理を併用した上で、汎用視覚モデルを外部 API として呼び出す構成を採用した。

実装面では、PDF の表示・レンダリングに PDF.js⁵⁾ を使い、画像処理と Hough 変換にはブラウザ上で動作する OpenCV.js⁶⁾ を用いた。また、開発過程では複数の技術領域（PDF 生成、ブラウザ GUI、画像処理、サーバサイド実装）の統合が必要であったため、大規模言語モデルをコーディング支援として併用した⁷⁾。ただし、生成物は逐次レビューし、運用要件に照らして仕様を確定した。

要件整理と設計方針

データ入力の自動化においては、マークシート

表1：要求事項と主な設計要素

要求事項	設計要素 (実装)
測定員の追加作業を最小化	受付でのオンデマンド発行 (AutoPrint), 紙への手書き記入を維持
スキャン品質のばらつきに対する頑健性	四隅L字マーク検出+ホモグラフィ補正, SafeZone 制約付き Hough 線分検出
項目数が多い測定の入力負担軽減	1マス1数字の帳票設計, セル単位 OCR, groupId による複数セル連結の一般化
現場での設定変更の必要性	領域テンプレートを JSON で管理, GUI で region 定義・padding・group 追加を編集可能
処理集中への耐性	セル OCR を並列実行 (並列数を設定可能), バッチ実行と進捗表示
結果の信頼性と修正容易性	サーバ側の妥当性検証, 確認 UI での修正と再送信

(表注) 設計要素は本稿で述べる主要機能に対応する。

(OMR) による入力効率化も代替案として考えられる。一方で、本研究の運用では、測定直後に選手へ原本を返却しつつ、転記内容の控えを手元に残して確認・フィードバックに用いる必要があった。このため、数字として可読な転記欄を維持することが重要であり、マーク方式は控えの可読性や現場での目視チェック効率の点で適合しにくかった。また、測定現場では机上で集中して塗りつぶす環境が常に確保できるとは限らず、記入作業の追加が測定業務の妨げとなり得る。以上より、本研究では数字記入方式を採用し、後工程の入力・チェック負担をシステム側で低減する方針とした。

大規模測定では、受付、測定 (複数ステーション)、集約、入力、確認、登録、結果返却という一連の工程が存在する。測定員は測定業務に専念するため、データ入力のための追加作業や機器操作は最小化される必要がある。また、計測後の入力・確認作業は測定担当者の負担となり、移動時間などを用いて長時間の入力・チェックを行う状況も生じ得る。

本研究では、紙での記入という現場制約を維持しつつ、後工程 (入力・確認・登録・結果返却) の負担を軽減することを主眼に、次の設計方針を置いた。(i) 受付で測定シートをオンデマンド発行し、識別子を QR

コードで付与する。(ii) 記入シートは1マス1数字の形式とし、テンプレートに基づいてセル単位で切り出して OCR する。(iii) スキャン品質のばらつき (傾き、台形歪み、縮尺差、影、汚れ) に対して、四隅基準点と SafeZone を用いた頑健なキャリブレーションを行う。(iv) OCR 結果はサーバ側で妥当性検証し、確認画面で修正可能にする。(v) 同日複数会場の並列運用は少ないが、処理集中に備えて OCR の並列数を調整可能とする。

システム構成

システムは、①受付時に測定シートを発行する PDF 生成・印刷モジュール (AutoPrint)、②スキャン PDF をブラウザ上で読み込み、③テンプレートに基づいて OCR する抽出モジュール (OCR テンプレート GUI)、④抽出結果を検証・保存し、結果を返却するサーバサイド機能から構成される (図1)。

従来は、測定終了後に紙シートを持ち帰り、手入力と目視チェックを行うことが多く、データ登録とフィードバックの遅延が課題であった。本研究では、スキャンと OCR を介在させ、確認 UI を通じて入力を短縮するフローを設計した (図2)。

System Architecture: 4 Components

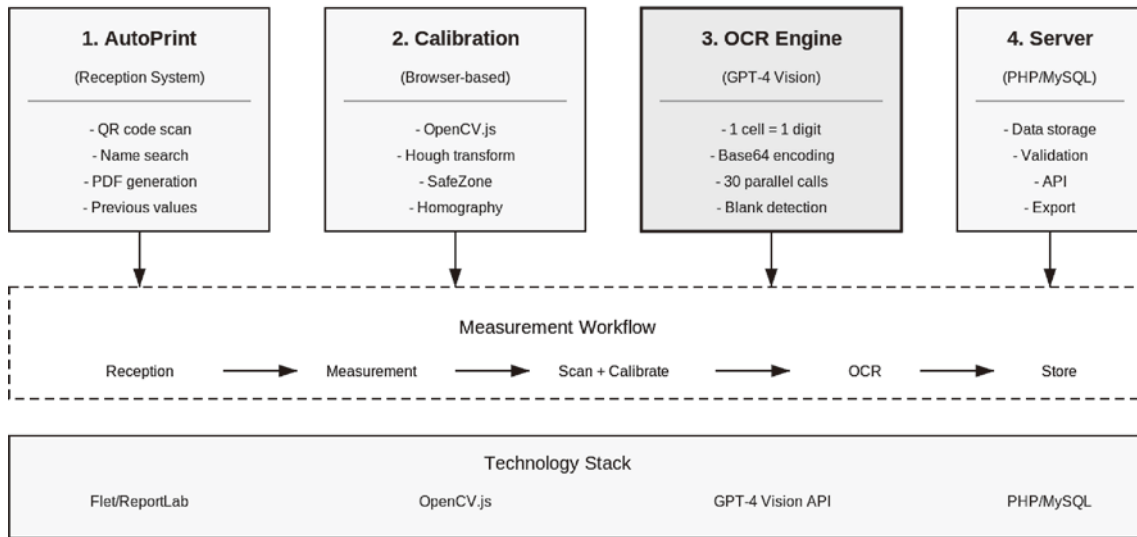


図1：システム全体アーキテクチャ

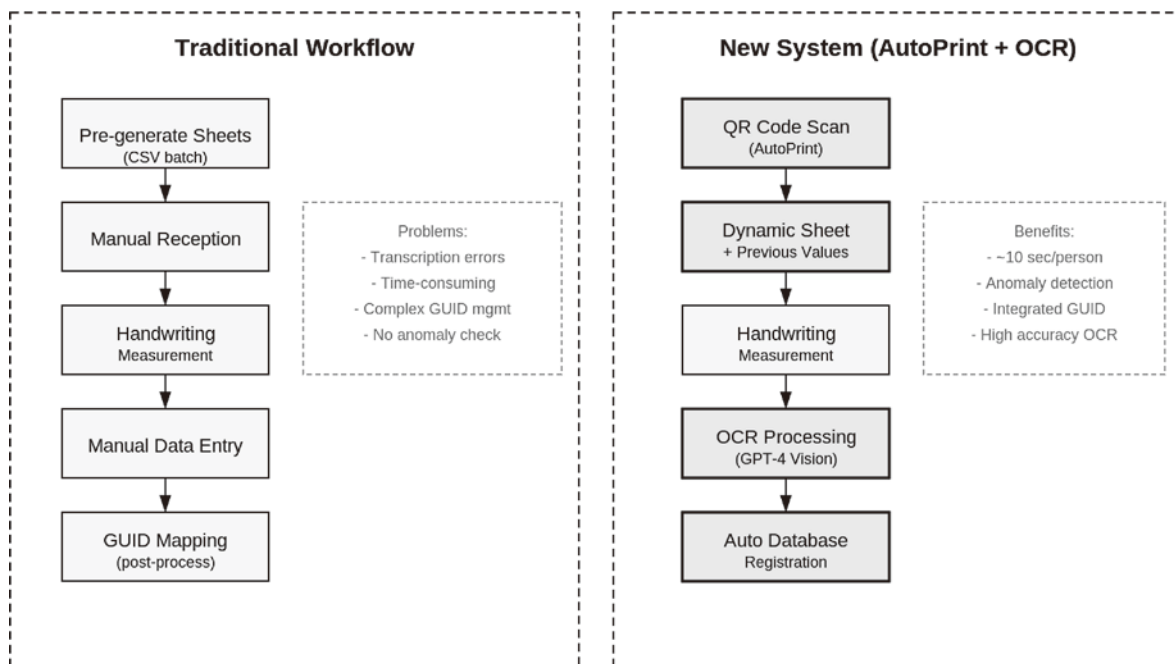


図2：従来の入力中心フローと提案フローの比較

測定シート設計と受付システム (AutoPrint)

測定シートは、手書き記入を前提としつつ、データ抽出を容易にするために「1マス1数字」の入力枠を採用した。この制約により、文字列認識ではなく単一数字の分類としてOCRを設計でき、桁数が固定された測定項

目に適合する。また、記入ガイドとして「1」と「8」の合字を薄色で印字し、等幅フォント Courier を採用した。

受付では、測定者の識別と後工程の紐付けのため、予測困難なGUIDを発行し、QRコードとして印字した測定シートをオンデマンドで生成・印刷する(図3)。

AutoPrint Reception System - Dual Input Mode

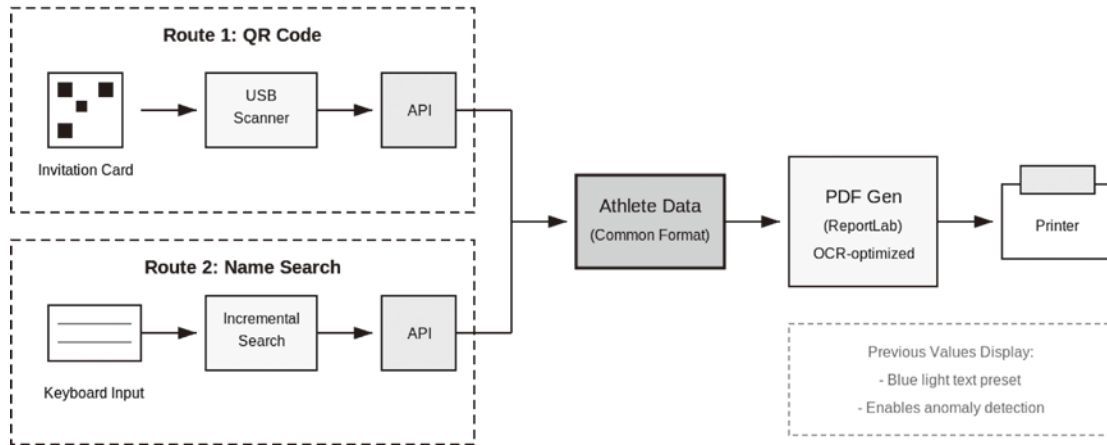


図3：受付でのオンデマンド発行（AutoPrint）のシステム構成

OCR Processing Workflow

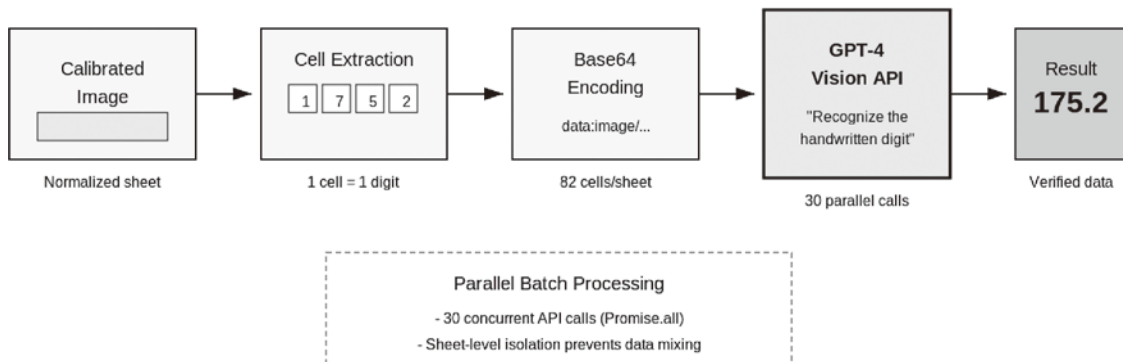


図4：テンプレート型 OCR の処理フロー

GUID は推測攻撃が成立しにくい長さ・形式で生成し、URL に含めることで入力・確認画面への到達を制御する。ただし、本研究の主眼はアクセス制御の研究ではないため、運用上は追加の認証や配布方法を組み合わせることを前提とする。

大規模な測定会が開始された後は、帳票フォーマットや受付手順の変更が現場運用に与える影響が大きく、変更が困難になる。そのため、AutoPrint では帳票の版管理と出力ログを残し、帳票の更新を段階的に行えるようにした。

テンプレート型データ抽出（ブラウザ OCR モジュール）

OCR モジュールは単一の HTML ファイルと領域テンプレート（JSON）を中心に構成され、API キーを設定することでブラウザ上で動作する。環境依存のビルド工

程を避けることで、測定拠点や持ち込み端末が変わっても実行環境を揃えやすい設計とした。

処理フロー

スキャン済み PDF を読み込み、PDF.js でページをレンダリングしてキャンバス画像を得る。次に、四隅の L 字マークを検出して射影変換（ホモグラフィ）行列を推定し、ページの傾き・台形歪み・縮尺差を補正する。補正後の画像座標系において、テンプレートで定義された region（セル）を切り出し、セル単位で OCR を実行する（図4）。

OCR 結果（各セルの数字）は groupId で束ねられ、複数セルを連結して 1 項目の値に復元する。復元値はサーバへ送信され、妥当性検証と保存、および結果返却に用いられる。

領域テンプレート (JSON) と groupId による値復元

領域テンプレートは JSON で管理し、ページ座標に対する相対座標 (0~1) として region (セル) の位置と大きさを定義する。region は、①セル画像の切り出し領域 (x, y, width, height), ②所属する測定項目を表す groupId, ③ OCR 形式 (single digit, QR など), ④値の制約 (例: 0/1 のみ) を持つ。group は測定項目のメタ情報 (名称, 小数点位置, 送信パラメータなど) を持ち, region 群と組み合わせで帳票全体を記述する。テンプレートの一部を付録 A に示す。

本研究では、フィールドを groupId で束ねることで「複数マスを連結して 1 項目の数値に復元する」処理を一般化した。具体的には、groupId ごとにセルを並び順 (左から右) で連結して数字列を構成し、group が持つ小数点桁数に基づいて小数点を挿入する。これにより、身長のように複数桁かつ小数を持つ項目や、試行回数のように桁数が異なる項目を同一の集約ロジックで扱える。

また、OCR 切り出し領域の上下左右 padding を GUI のサイドメニューから調整できるようにし、罫線や記入位置の揺らぎによる数字の欠損を抑える設計とした。region 定義の追加・修正, group の追加・編集も GUI 上でを行い, JSON としてエクスポートして版管理できる。

キャリブレーション—四隅 L 字マークと SafeZone 制約

スキャン PDF には、傾き, 台形歪み, 縮尺差, 影,

汚れが含まれ得る (図 6)。テンプレートに基づく領域切り出しを成立させるためには、帳票画像をテンプレート座標系へ正規化するキャリブレーションが必須である。

初期実装では、各隅の近傍 ROI を切り出して二値化し、隅に最も近い暗画素 (L 字マークの頂点候補) を基準点として採用した。しかし、ページ端の汚れや影, かすれ等により、頂点以外の画素が先に検出されると基準点が大きくずれ、射影変換後に認識領域が系統的にずれる問題が生じた。

この課題に対し、後期実装では、隅近傍の SafeZone (外周帯) に限定した前処理 (照明むら補正, 適応的閾値処理, モルフォロジー処理) を行い, Canny エッジ検出後に Hough 線分検出を適用して水平・垂直の代表線分を推定し, その交点を L 字頂点として採用した (図 5)。SafeZone により, コピー機由来の影や外周部の濃度変動の影響を抑制し, 線分検出の安定性を高めた。

SafeZone 設定とキャリブレーション調整 UI

実運用では、帳票の版や印刷状態により、外周マークの太さや余白が変化することがある。本研究では、SafeZone の幅や検出パラメータを GUI で調整できるようにし、帳票ごとの適用範囲を視覚的に確認しながら設定できるようにした (図 7, 図 8)。設定は JSON に保存されるため、帳票版の更新と合わせて再現可能である。

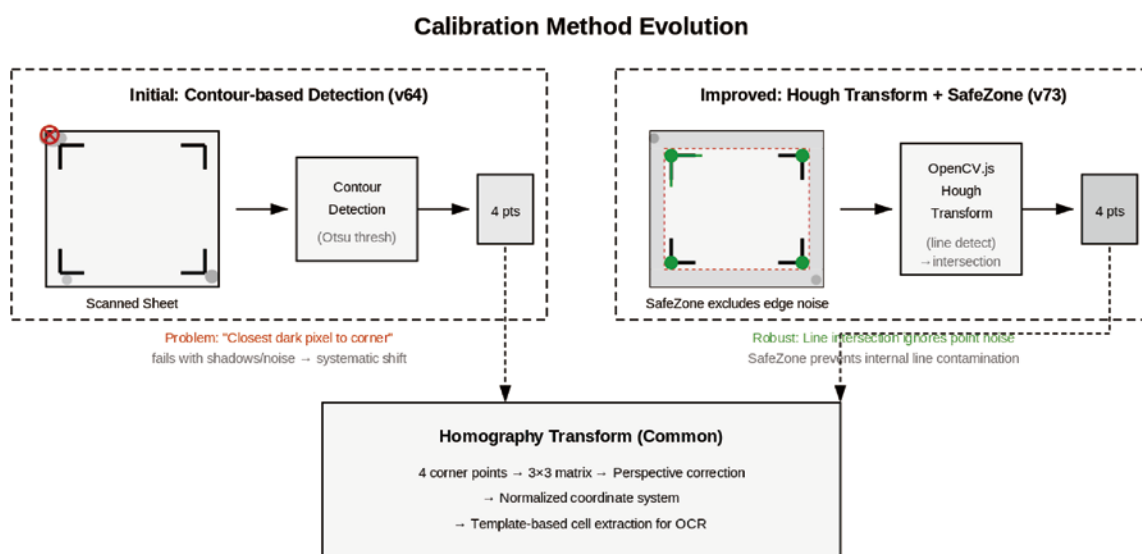


図 5: キャリブレーション手法の変更点

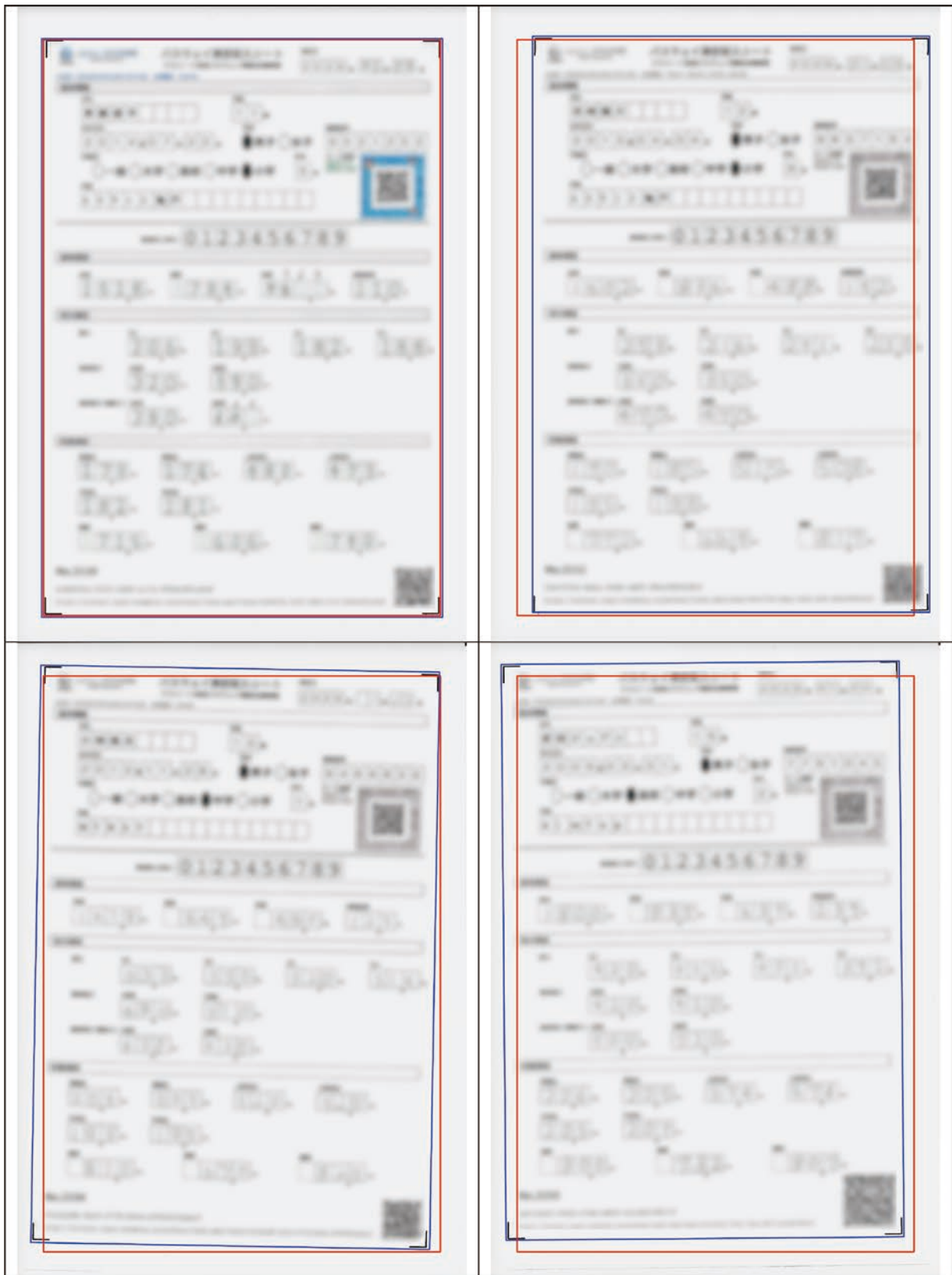


図6：キャリブレーション枠に対する実スキャン例（赤：校正前枠，青：検出枠）

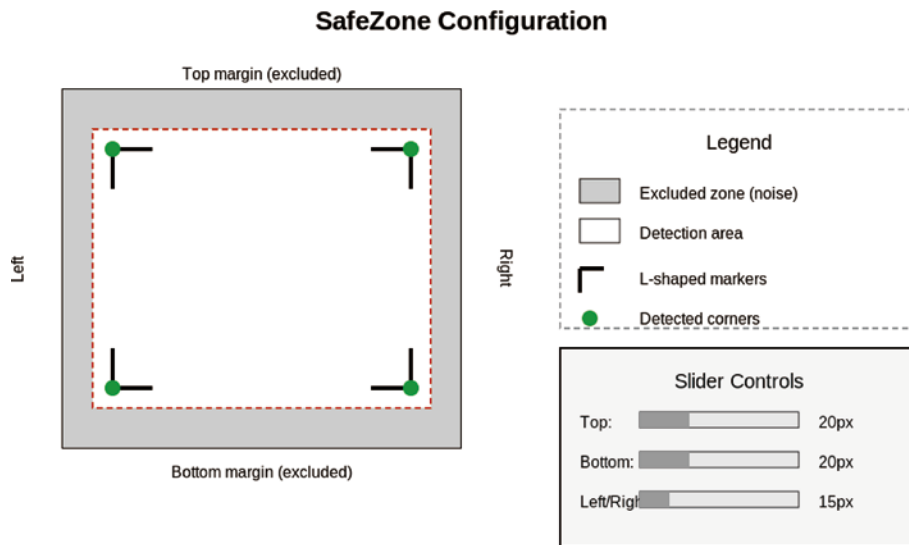


図7：SafeZone 設定 UI

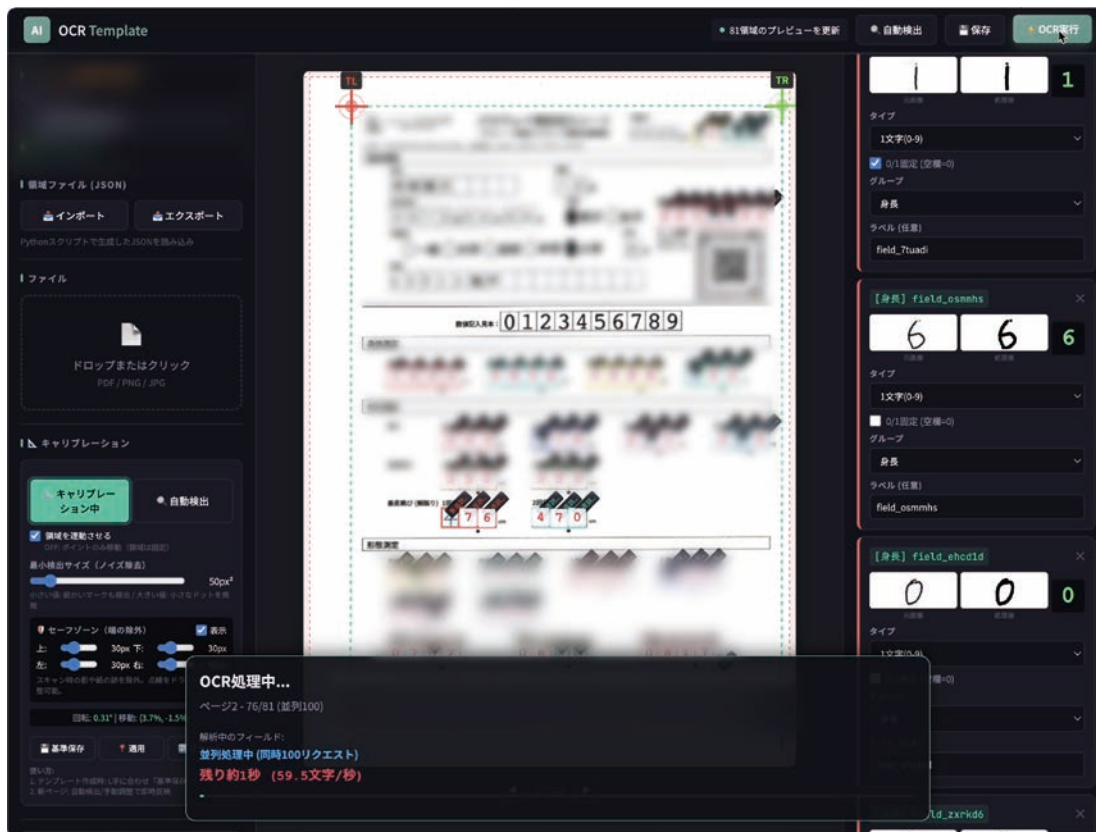


図8：OCR テンプレート GUI のスクリーンショット

セル画像前処理と単一数字 OCR

セル画像は、ホモグラフィ補正後のキャンバスから region ごとに切り出し、必要に応じて最小サイズ (例：200px 以上) へアップスケールする。また、region の上

下左右 padding を設定して罫線成分を避け、1 と枠線の混同などのエラーを避ける。

OCR には OpenAI の視覚モデル (GPT-4o) を用い、system prompt で「0～9 のいずれか 1 文字のみを返す」

「空欄は0」「印字されたガイド文字は無視する」等の制約を明示し、temperature=0で実行する。この設計により、セル単位で一定の出力形式を確保し、後段の集約処理を単純化した。0/1の二値項目については、出力が0/1以外の場合に0へフォールバックし、確認画面で補正できるようにした。

並列実行とスループット

OCRはセル単位の独立なリクエストとして実行し、ブラウザ側で並列数を設定できるようにした。実運用では、ブラウザ処理負荷の軽減を主目的として並列数を30～50程度に設定し、端末性能やネットワーク状況に応じて調整した。並列数自体はより大きく設定することも可能である。

対象帳票では1枚あたりのregion数が81（数字セル80 + QRセル1）である。セルごとのAPI応答が1～2s程度で返る条件では、並列数30～50の場合、概ね2～3バッチで処理が進み、OCR部は6～8s/枚程度で完了する。並列数は端末性能に応じて調整可能であり、実行例では並列100設定で約60文字/秒の進捗表示を示し、81regionの処理が数秒以内で完了した（図8）。ただし、実測時間は端末性能、通信遅延、API負荷に依存する。

サーバサイド統合と結果返却

サーバ側では、GUIDに紐づく測定データを受信し、測定項目ごとの妥当性検証（範囲、桁数、必須項目など）を行った上で保存する。妥当性検証は、OCRの誤

認識や記入ミスを早期に検出し、確認画面での修正を促すためのものである。

本研究では、GUIDをURLの主要キーとして扱い、予測困難な識別子である点を利用して、無差別なURL推測によるアクセスが困難になるよう設計した。ただし、個人情報扱う運用では、GUIDの秘匿に加えて、通信経路の保護やアクセス権限の管理が必要である。

結果返却は、測定者が自身の結果を閲覧できるWeb画面として実装し、運用上は測定終了後できるだけ早いタイミングで返却することを想定した。本稿では、結果返却の心理的・行動的効果を評価することまでは扱わず、データハンドリング基盤としての実装に焦点を当てた。

開発プロセスとバージョン更新

本開発では、OCR（画像処理・LLM API）、PDF生成、GUI、サーバサイド実装という異なる技術領域を短時間で統合する必要があった。特に、大規模測定会が開始されてしまうと、その後に帳票フォーマットやオペレーションを変更することは極めて困難である。この制約の下で、段階的なプロトタイプと運用フィードバックに基づく改修を繰り返した。

開発効率化のため、コーディング支援として大規模言語モデル（Claude）を利用した。具体的には、仕様の言語化、既存コードの理解補助、GUI実装や例外処理の追加、デバッグ観点の洗い出しなどに用い、人手によるレビューと実機検証を前提として採用した。

主要な機能追加と改修はバージョン単位で管理し、

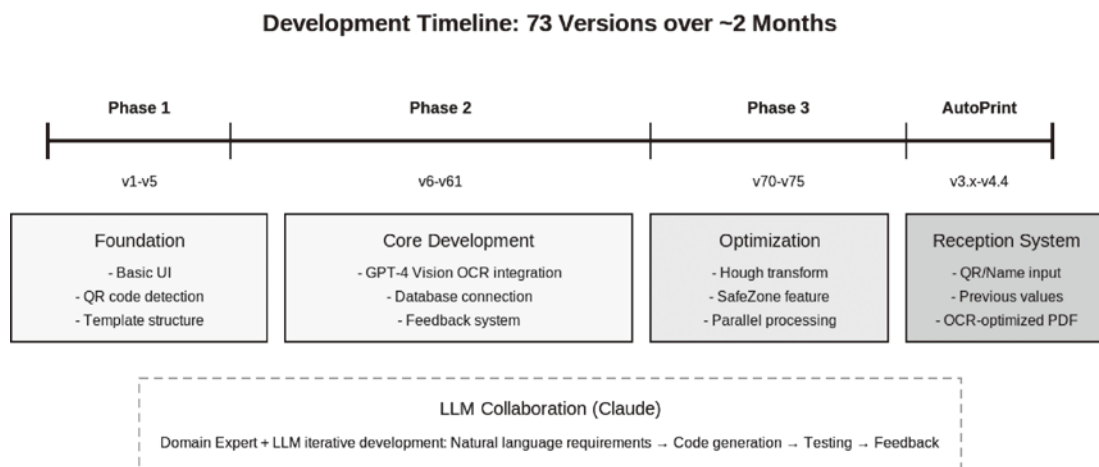


図9：開発タイムライン

キャリブレーション頑健化 (v64 → v73), SafeZone 導入 (v70 系), groupId による値復元の一般化 (v60 系), GUI からの region 編集 (v60 系) などを段階的に実装した (図9).

開発上の課題と対応

(a) キャリブレーション不安定. 初期は隅近傍 ROI で二値化輪郭から角に最も近い点を選択していたが, ページ端の汚れ・影・かすれで誤検出し, 射影変換後に region が系統的にずれることがあった. SafeZone 制約付きの前処理 + Hough 線分検出に変更し, 頑健性を改善した.

(b) 設定データの肥大化. テンプレート編集と試行を繰り返す過程で, ブラウザ側に保存する設定が肥大化し, 保存・復元が不安定になることがあった. 設定の粒度を整理し, JSON の入出力と版管理に移行して再現性を確保した.

(c) region 定義の微調整. スキャン環境や印刷状態により最適な切り出しが変化するため, padding や region 位置の微調整が必要であった. GUI 上で region 定義と group 追加を編集できるようにし, 現場調整と再利用を可能にした.

(d) OCR 誤認識と確認負荷. セル単位 OCR では誤認識が完全には避けられない. 出力形式を 1 桁に制約し, 空欄時の規定値を設け, さらにサーバ側の範囲チェックと確認画面での修正導線を整備した.

(e) 並列処理時の負荷. 並列数を過大にするとブラウザが高負荷になり, UI 応答が低下する. 並列数を設定可能とし, バッチ単位での進捗表示とエラーハンドリングを整備した.

精度検証 (OCR 認識)

本章では, 本研究により開発された全システムの導入によるフルスペック運用を行った測定イベント (以下, フルスペック大会) で取得した測定シートを対象に, 目視確認済みの正解データと OCR 出力を照合し, 文字認識精度を評価した. なお, 本章の評価は, 運用で採用している SafeZone=30px (初期設定値) で実行した結果に基づく.

データと評価方法

評価対象は, フルスペック大会で回収した測定シート

246 件である (1 人 1 枚). 各シートは 24 項目 (groups) から構成され, 全体で 5,904 グループ (=24 × 246) を評価対象とした. また, 帳票は「1 マス 1 数字」の設計であり, 各シートは 80 セル (regions) から構成されるため, 全体の単一数字認識は 19,680 セル (=80 × 246) である.

正解データは, 運用で生成されたデータを人手で目視確認し, 誤りを修正したものを用いた. OCR の出力は, テンプレート (JSON) で定義された region を切り出し, セル単位に 0-9 の 1 文字を推定して復元した数値列である. 認識モデルには OpenAI API の GPT-4o (Vision) を用いた.

評価指標は以下の 2 水準とした. 第一にグループ正解率 (group accuracy) は, 項目単位 (groupId で束ねた複数セルの集合) で復元された数値が正解データと完全一致した割合とした (小数点を含む). 第二に数字正解率 (digit accuracy) は, セル単位での 0-9 認識が一致した割合とした. さらに, 数字の誤認傾向を把握するため, 0-9 の混同行列 (confusion matrix) を作成した.

結果

表 2 に精度指標の要約を示す. グループ正解率は 94.92% (5,604/5,904) であり, 数字正解率は 98.05% (19,297/19,680) であった. グループ誤りは 300 件で, 平均すると 1 枚あたり 1.22 項目の不一致に相当する (平均正解 22.78/24). また, 数字誤りは 383 件で, 平均すると 1 枚あたり 1.56 セルの誤認に相当する (平均正解 78.44/80).

表 2 : OCR 認識精度の要約 (n=246)

指標	値
評価シート数	246
評価グループ数 (24 項目 × n)	5,904
グループ正解率	94.92%
グループ誤り数	300
評価セル数 (80 セル × n)	19,680
数字正解率	98.05%
数字誤り数	383
平均グループ誤り / 枚	1.22
平均数字誤り / 枚	1.56

(表注) グループ正解率は項目単位の完全一致, 数字正解率はセル単位の一一致である.

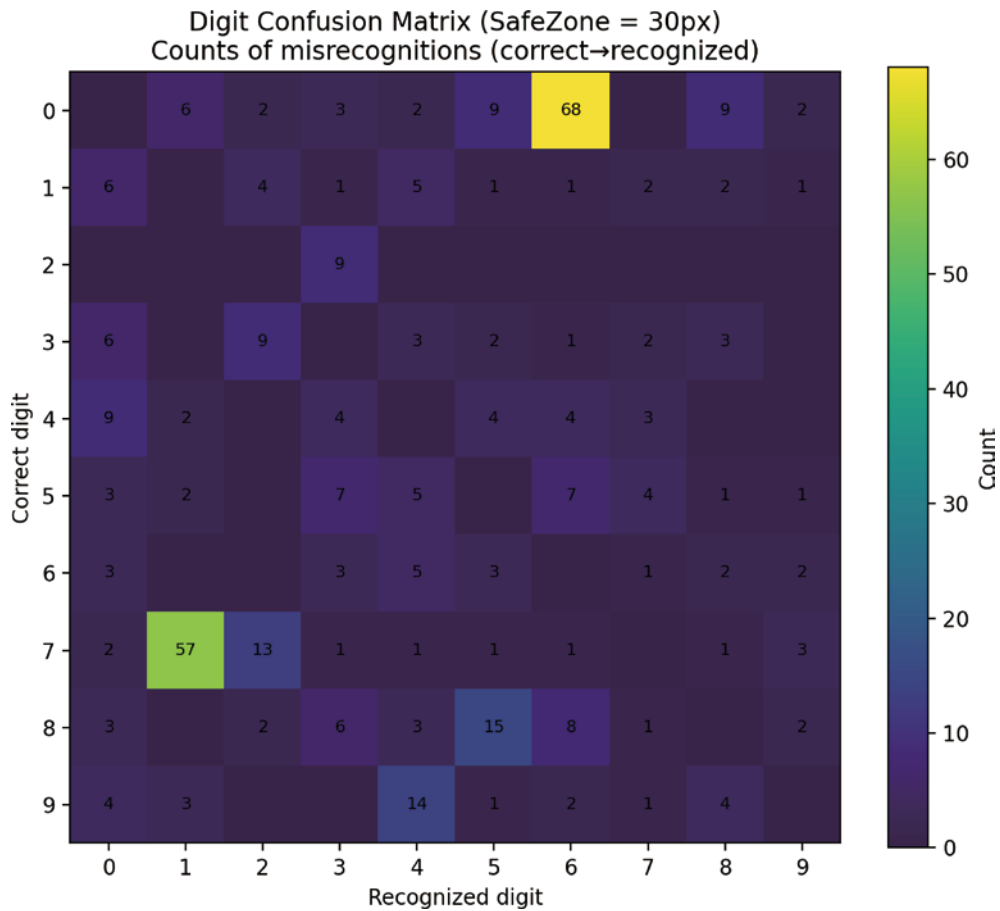


図 10：数字混同行列

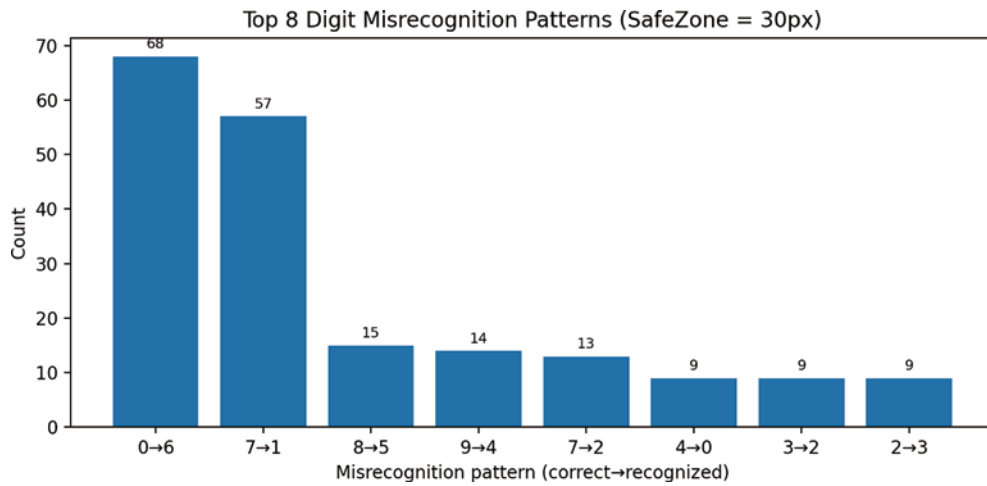


図 11：誤認パターン上位

誤認パターンの分析

図 10 に数字レベルの混同行列を示す。誤認の多くは、形状に近い数字間で発生していた。例えば、0→6 が 68 件、7→1 が 57 件と多く、「閉ループの欠落」や「上部

横線の弱さ」に起因する誤認が残存した（図 11）。

訂正書き（書き換え）による誤認

残存誤りの一部は、文字形状の曖昧さだけでなく、測

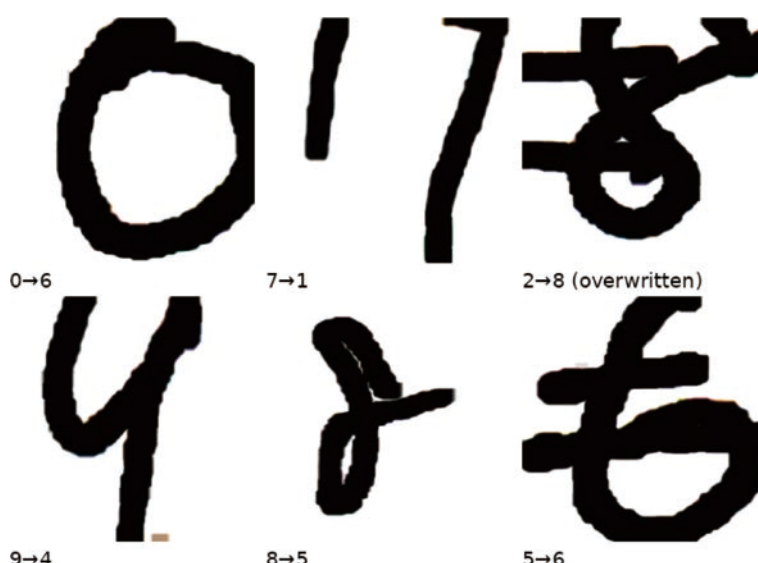


図 12：誤認識例

定現場での訂正書き（取り消し線，二重線，書き直し）に起因していた。本システムは1セル1文字の前提でセル画像を切り出すため，同一セル内に複数ストローク（取消線+書き直し）が混在すると，単一数字としての判別が困難になり，誤認が発生しやすい。図12に代表例を示す。この種の誤りは，画像処理の改善だけでは完全な解消が難しく，運用上は「訂正が生じた場合は別セル・別行に再記入する」等のルール設計と併用する必要がある。

処理時間

初期設定値での処理時間は，セル単位のAPI応答が平均976.7ms（中央値895.9ms）であった。本帳票は1枚あたり80セルであるため，セル処理を30-50並列で実行すると，API待ち時間としては概ね2-3バッチ（約3s前後）で完了する。実運用では，PDFレンダリング，キャリブレーション，切り出し，サーバ送信等の周辺処理が加わるため，OCR開始から結果表示までのエンドツーエンドは数秒オーダ（概ね6-8s/枚）となった。ただし，ネットワーク遅延やAPI混雑により外れ値（最大13s程度）が生じる場合があるため，現場運用ではバッチ処理と進捗表示により待ち時間を吸収する設計とした。

運用評価

運用評価として，複数の測定イベントで本システムを

運用し，サーバに記録された登録ログ（時刻情報）を集計した。本稿では個人情報保護と運用秘匿のため，イベント名，団体名，会場名は匿名化し，集計値のみを示す。また，測定・スキャン・OCR・確認の各作業時間を厳密に分離して計測したわけではなく，ログ解析は主に登録時刻の系列に基づく。

ここでは，(i)直近のフルスペック運用を行った測定イベント（イベントF）における登録の連続性，(ii)複数地域ブロックで実施され，スキャン提出方法が地域により異なったイベント（イベントB）における登録遅延の分布，の2点を示す。

イベントFでは，登録時刻差分の中央値が45秒であり，連続登録（60秒以内）が約61%であった（表3）。これは，OCR処理と確認・登録が一定期間に集中して連続的に実行されたことを示す指標であり，セル単位OCRをバッチ処理する設計が運用上機能していたことを示唆する。

イベントBでは，地域により登録遅延の中央値が大きく異なった（表4）。遅延が短い地域では，会場または会場近傍でスキャンしてオンライン提出する運用が成立していた。一方で遅延が長い地域では，紙シートを郵送し，到着後に集約拠点でOCR処理を行う運用が含まれていた。この結果は，OCRシステム単体の処理能力だけでなく，スキャン提出の運用設計が全体のスループットに影響することを示す。

表3：イベントFにおける登録時刻差分の要約

指標	値
連続登録間隔の中央値	45 秒
連続登録間隔の 25-75 百分位	34-150 秒
60 秒以内の割合	60.9 %
120 秒以内の割合	72.0 %

(表注) 登録時刻の差分はサーバ保存時刻に基づく。測定開始時刻からの経過時間ではない点に留意する。

表4：イベントBにおける地域別の登録遅延（測定日から登録日までの近似）

地域 (匿名)	遅延の中央値 (時間)	遅延範囲 (最小-最大, 時間)
地域 A	3.4	2.5-4.5
地域 B	5.6	5.5-5.8
地域 C	6.1	6.0-6.2
地域 D	6.9	6.3-7.1
地域 E	8.7	6.9-8.8
地域 F	11.4	11.3-12.1
地域 G	13.1	12.9-13.3
地域 H	32.2	32.2-32.2
地域 I	36.6	32.9-36.8
地域 J	38.8	28.7-53.4
地域 K	53.2	51.4-54.4
地域 L	87.5	76.2-87.8

(表注) 遅延は測定日の0時を基準に算出したもので、測定開始時刻を厳密に反映しない。

考察

本研究の特徴は、測定現場の制約（紙・手書き・測定員負担最小化）を前提に、帳票設計（1マス1数字）とテンプレート（JSON）を固定点として、キャリブレーション、セル単位OCR、確認UI、サーバ統合を一体として実装した点にある。特に、regionをgroupIdで束

ね、複数セル連結と小数点挿入を一般化したことで、項目の増減や桁数差に対する実装コストを抑えつつ、GUI上での設定変更で運用に追従できる構造を得た。また、フルスペック大会の照合では、初期設定値でグループ正解率94.92%、数字正解率98.05%を確認した。

残存誤りは、(i) 0と6、7と1等の形状類似、(ii) 線が薄い、途切れる、傾く等の筆跡差、(iii) 訂正書き（取り消し線、二重線、書き直し）による複数ストロークの混在、に整理できる。特に訂正書きは、セル単位に単一数字が存在するという前提を破るため、画像処理やモデル選択だけで完全に解消することは難しい。このため、誤認低減には、帳票設計（訂正の余地を設ける）、運用ルール（訂正時は別セルに再記入し、取消線を避ける）、確認UI（疑義セルの優先提示）を組み合わせた全体最適が重要である。

本システムは外部のVision APIを利用するため、通信環境やAPI提供条件（料金、モデル更新、利用制限）の影響を受ける。運用コストは、1枚あたりの認識領域数に比例して増加するため、帳票設計（領域数の抑制）と並列数制御が重要となる。本研究の帳票では81regionであり、初期設定値では並列数を30～50程度に設定することで、ブラウザの応答性と処理時間のバランスを取りやすかった。また、フルスペック環境では並列100でも処理が成立しており（図8）、端末性能に応じて並列数を調整できることを確認した。

レート制限については、本研究で使用したアカウント環境（Usage tier表示）において、1セル（約200×200px）を高詳細で送信する場合の入力トークンを概算し、1枚あたりの消費量を見積もった。その結果、1枚あたり約81リクエスト、約35,000トークン程度となり、ダッシュボード上で表示されるRPM/TPM上限に対して十分な余裕があった（付録B）。したがって、本研究の運用規模では、レート制限よりもネットワーク遅延、ブラウザ側の描画・前処理負荷、および確認作業が律速となりやすい。料金については契約・単価の変動が大きいため、本稿ではトークン消費量を示し、必要に応じて単価を掛け合わせて概算できる形とした^{9,11)}。

最後に、個人情報扱う運用では、帳票・ログ・スキャンデータの保護が不可欠である。本システムでは、外部APIへ送信する画像をセル単位（1桁）に切り出し、氏名等の直接識別子を含めない設計とした。登録番号等の数値項目は数字列として復元され得るが、外部

APIへは1桁単位で送信されるシステム構造上、API側に個人情報が一切渡らない。OpenAIのAPIでは、デフォルトでは入力・出力がモデル学習に用いられない旨が示されている^{8, 12)}。また、API提供者のデータ取り扱い方針に依存するため、運用時にはログ保持期間、およびZero Data Retention等の選択肢を確認し、必要に応じてアクセス制御と保管期間設計を組み合わせる必要がある^{8, 12)}。

結論

本研究では、スポーツ団体の大規模測定における紙ベースの手書き測定シートを対象に、テンプレート型データ抽出システムを設計・実装した。オンデマンド発行(AutoPrint)による識別子付与、四隅L字マークとSafeZone制約付きHough検出による頑健なキャリブレーション、JSONテンプレートとgroupIdによる汎用的な値復元、セル単位OCRの並列実行、およびサーバー側検証と結果返却を統合した。

運用ログの集計から、登録が連続して行われる局面ではバッチ処理が成立していること、また地域ごとの登録遅延はスキャン提出の運用設計に依存することが示された。さらに、フルスペック大会の照合では、初期設定値でグループ正解率94.92%、数字正解率98.05%を確認した。今後は、訂正書き等に起因する残存誤りを低減するための帳票・運用ルールの改善と、疑義セルの提示・再OCR等を含む確認プロセスの効率化を通じて、測定終了後の入力・チェック負担をさらに低減することが課題である。

謝辞

本システムの運用に協力した測定スタッフ、および試行運用に参加した関係者に感謝する。

また、本研究の論文執筆および解析システムの開発において、Anthropic社の大規模言語モデルClaude Opus 4.5およびコーディングツールClaude Codeを補助的に使用した。最終的な内容の確認・修正は著者が行った。

利益相反

本研究において申告すべき利益相反は存在しない。

参考文献

1) Duda RO, Hart PE (1972) Use of the Hough

Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. Communications of the ACM, 15 (1) : 11-15.

- 2) Hartley R, Zisserman A (2004) Multiple View Geometry in Computer Vision, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge.
- 3) Smith R (2007) An Overview of the Tesseract OCR Engine. Proceedings of the 9th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), pp : 629-633.
- 4) OpenAI (2026) OpenAI API Documentation. <https://platform.openai.com/docs/> (参照日 : 2026年1月29日)
- 5) Mozilla (2026) PDF.js. <https://mozilla.github.io/pdf.js/> (参照日 : 2026年1月29日)
- 6) Bradski G (2000) The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools.
- 7) Peng S, Kalliamvakou E, Cihon P, Demirer M (2023) The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot. arXiv preprint, arXiv:2302.06590.
- 8) OpenAI (2026) Data controls in the OpenAI platform (Your data). <https://platform.openai.com/docs/guides/your-data> (参照日 : 2026年1月29日)
- 9) OpenAI (2026) Rate limits | OpenAI API. <https://platform.openai.com/docs/guides/rate-limits> (参照日 : 2026年1月29日)
- 10) OpenAI (2026) Images and vision | OpenAI API. <https://platform.openai.com/docs/guides/images-vision> (参照日 : 2026年1月29日)
- 11) OpenAI (2026) Pricing | OpenAI API. <https://platform.openai.com/docs/pricing> (参照日 : 2026年1月29日)
- 12) OpenAI (2026) How your data is used to improve model performance. <https://openai.com/policies/how-your-data-is-used-to-improve-model-performance/> (参照日 : 2026年1月29日)

付録 A：領域テンプレート JSON の設計

領域テンプレートは、帳票の版ごとに JSON ファイルとして管理する。ocrSettings に前処理・切り出し・並列実行に関する設定をまとめ、groups と regions で帳票構造を記述する。また、キャリブレーションの参照点（四隅）と、元の region 定義を保持し、ホモグラフィ推定後の座標変換に用いる。

表 A1 に主要キーを示す。

表 A1：領域テンプレート JSON の主要キー

キー	内容
metadata	テンプレートの識別情報（版、シート種別など）
ocrSettings	PDF レンダリング倍率、最小切り出しサイズ、padding、前処理パラメータ、並列数など
groups	測定項目の定義（名称、小数点桁数、送信パラメータ等）
regions	セル（region）の定義（相対座標、groupId、形式、制約）
calibration	参照点と、補正前の region 定義（ホモグラフィ推定に利用）

以下に JSON の最小例（匿名化）を示す。

```
{
  "metadata": {
    "version": "vX",
    "sheetType": "measurement_sheet"
  },
  "ocrSettings": {
    "pdfScale": 4,
    "minRegionSize": 200,
    "padding": {
      "top": 17,
      "bottom": 11,
      "left": 13,
      "right": 10
    }
  },
  "groups": [
    {
      "id": "g_height",
```

```
      "name": "身長",
      "decimalPlaces": 1
    },
    {
      "id": "g_weight",
      "name": "体重",
      "decimalPlaces": 1
    }
  ],
  "regions": [
    {
      "id": "r001",
      "label": "身長 (百)",
      "groupId": "g_height",
      "format": "single_digit",
      "x": 0.145,
      "y": 0.58,
      "width": 0.0375,
      "height": 0.0321
    },
    {
      "id": "r002",
      "label": "身長 (十)",
      "groupId": "g_height",
      "format": "single_digit",
      "x": 0.183,
      "y": 0.58,
      "width": 0.0375,
      "height": 0.0321
    }
  ]
}
```

付録 B：並列数設定と API 制限に関する補足

セル単位 OCR では、1 枚あたりのリクエスト数が region 数に比例する。本研究の帳票では、セル OCR の対象が 80 セルであり、テンプレート自動検出（detectFields）を併用する場合でも、1 枚あたりのリクエスト数は概ね 81 回である。並列数を P とすると、理想化すれば約 $180 / P$ バッチで処理が進む。

画像入力のトークン消費は解像度に依存するため、本研究ではセル画像を概ね 200×200 px 程度に正規化して送信した。OpenAI のガイドでは、高詳細（detail="high"）では 512px タイル単位でトークンが計上されるため¹⁰、本研究のセル画像は 1 タイル相当となり、画像トークンは約 255 tokens/枚（概算）であっ

た。これにプロンプト等 (約 150 tokens) を加えると、1セルあたり約 405 input tokens, 出力は1桁のため最大 5 tokens となる。したがって、1枚あたりの総消費は約 35,000 tokens (概算) となる。料金の概算は、価格表に示される入力・出力単価 (\$/1M tokens) を用い、 $(T_{in} / 10^6) \times P_{in} + (T_{out} / 10^6) \times P_{out}$ として計算できる¹¹⁾。

本研究で使用したアカウント環境では、ダッシュボード上で GPT-4o の制限として TPM=30,000,000, RPM=10,000, TPD=15,000,000,000 が表示されていた。上記の概算に基づけば、RPM 上限からは約 123 枚/分、TPM 上限からは約 857 枚/分が理論上の上限となり、本研究で想定する処理量ではレート制限がボトルネックになりにくいことを確認した⁹⁾。もっとも、API 制限値や単価は契約形態・モデル更新で変化し得るため、運用時には公式情報を参照し再評価する必要がある^{9, 11)}。

論 文

週1回の集団エクササイズトレーニングに断続的に参加する
高齢者の体力, 脚筋肉量, 動脈スティフネスの変化
— 3年間の縦断的検討 —

松 井 健
追手門学院大学

林 勇 樹
追手門学院大学

巽 樹 理
追手門学院大学

Changes in Physical Fitness, Leg Muscle Mass, and Arterial Stiffness
in Older Adults Participating in Intermittent Weekly Group Exercise Training:
A 3-Year Longitudinal Study

Takeshi MATSUI
Otemon Gakuin University

Yuki HAYASHI
Otemon Gakuin University

Juri TATSUMI
Otemon Gakuin University

Abstract

【Background】 Weekly community-based group exercise classes are commonly used for older adults, but the long-term effects of such once-weekly programs on physical fitness, leg muscle mass, and arterial stiffness remain unclear.

【Objective】 This study examined 3-year changes in these outcomes in older adults participating in a weekly group exercise program.

【Methods】 Participants engaged in once-weekly 45-minute aerobic group exercise (gym-based or aquatic), 26 sessions per year, from fiscal year 2022 to 2024. Thirty-two older adults (5 men, mean age 75 years) who continuously attended classes and measurement sessions were included. Physical fitness (the New Physical Fitness Test developed by Japan's Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology and the Timed Up & Go test: TUG), body composition (including Skeletal Muscle Mass Index: SMI), and arterial stiffness (brachial-ankle Pulse Wave Velocity: baPWV) were assessed every six months over three years. Participants were divided into a ≥ 75 -year-old group ($n = 14$, 79.7 ± 2.6 years) and a <75 -year-old group ($n = 18$, 71.3 ± 2.3 years), and data were compared between groups.

【Results】 Grip strength declined significantly in both age groups. The <75 -year-old group improved in sit-and-reach, whereas the ≥ 75 -year-old group showed significant declines in the 10-meter obstacle walk and one-leg stand, indicating age-related functional decline. Leg muscle mass and SMI were generally maintained over 3 years in both groups. baPWV increased significantly in the <75 -year-old group but remained below 1,800 cm/s; in the ≥ 75 -year-old group, baPWV showed no significant change but

*責任著者：松井健, 追手門学院大学, t-matsui@haruka.otemon.ac.jp

Corresponding Author : Takeshi Matsui, Otemon Gakuin University, t-matsui@haruka.otemon.ac.jp

remained consistently higher than in the <75-year-old group. In the combined data from both groups, significant correlations were observed between changes in leg muscle mass/SMI and all leg-related indicators except the one-leg stand. Regarding changes in leg-related physical fitness indicators, there are 18 possible combinations across all age groups and the total combined group. Among these, significant correlations were observed in 10 pairs, with 8 of these pairs including the 6-minute walk test ($p < 0.05$). A significant negative correlation between baPWV change and lower limb muscle mass change was observed only in the ≥ 75 -year-old group, while a negative correlation between baPWV and one-leg stand (3-year average) was found only in the <75-year-old group.

【Conclusion】 This 3-year weekly group exercise program maintained leg muscle mass but could not prevent declines in grip strength, balance, or walking ability. These findings highlight the need for targeted interventions to preserve these functions. The observed associations between arterial stiffness and muscle mass or balance suggest that training programs for older adults should emphasize strengthening lower limb muscle strength and balance to help prevent progression of arterial stiffness.

キーワード：高齢者，集団エクササイズ，体力，動脈ステイフネス，脚筋肉量

Keywords：older adults, group exercise, physical fitness, arterial stiffness, body composition, leg muscle mass

I. 緒言

日本の75歳以上人口は、2025年9月15日現在の推計¹⁾において2,124万人となり、前年(2,075万人)と比較して49万人増加している。総人口に占める割合も16.8%から17.2%へと0.4ポイント上昇した。少子高齢社会が進行し、後期高齢者の割合が上昇し続ける現状においては、将来的な年金・医療・介護等にかかる社会保障費の増大が懸念されている²⁾。そのため、社会保障費の増加を抑制することは対策優先度の高い社会課題である。また国民個人においては、自らの健康度を積極的に維持・増進させ、生活的自立の確保と医療・介護費の軽減を図ることが重要となる。

地域の高齢者がフレイル状態に陥ることなく、生活的自立を維持して健康に過ごすためには、地域における運動・スポーツ実践の場を拡充し、運動習慣を獲得できる環境を整備することが有効である。自治体等が提供する介護予防教室や運動教室、あるいは運動サークル活動は、集団で行う運動の機会であり、単なる運動プログラムの効果にとどまらず、個人の健康運動習慣への動機付けや、日々の生活における主観的健康感³⁾、社会活動への参加意欲³⁾などを向上させる効果も示唆されている。

このような運動教室やサークル活動などの集団エクササイズトレーニングの実施頻度は、自治体や主催団体に

おける運営負担、利用者の参加しやすさ、および長期的な継続性を考慮し、週1回で実施されることが多いと推察される。高齢者を対象とした週1回の集団エクササイズトレーニングの効果は、多くの先行研究で確認されている。例えば、Yamadaら⁴⁾は、地域在住高齢者(平均年齢80歳)を対象とした週1回・16週間の介護予防運動教室において、身体の虚弱化進行や機能障害の予防に有効であることを報告している。Foleyら⁵⁾は、通所リハビリテーション終了後の高齢者を対象とした高強度・漸進的ジムベース運動(レジスタンス、有酸素、柔軟性・バランス)の介入において、対照群に比べて介入群(週1回群および週2回群)で効果が認められ、かつ週1回と2回では効果が同等であったことを明らかにした。さらに同研究では、週1回の介入は費用対効果が高く、コンプライアンスも良好であり、参加者の66%が好ましい運動頻度として選択している点を指摘している。一方で、Limら⁶⁾は訓練されたボランティアによる週1回・6ヶ月間の筋力トレーニング(座位運動・オンライン配信)の効果を検証した結果、身体的虚弱やサルコペニアなどの指標に有意な改善は認められなかったものの、身体活動レベルの改善傾向や、オンライン配信における安全性および参加者の楽しさの認識が確認されたと報告している。費用や移手段等の問題を抱える高齢者にとって、このようなオンラインによる運動介入は

有効な選択肢となり得る。Baxter⁷⁾は、週1回のレジスタンスプログラム(1セッション12分間・12週間)が、週2回のトレーニングと同等の筋力向上効果をもたらし、神経筋機能も同様に改善することを示している。

高齢者の運動トレーニングにおいては、その効果が理解されていても、意欲や環境(時間・支援)の不足、怪我や疾患による身体的制約が継続の障壁となることが多い。特に、日常生活における怪我や不調を契機とした不活動は、短期間であってもサルコペニアを誘発し、さらなる健康悪化の悪循環を招くリスクが高まる。そのため高齢者の運動トレーニングでは、無理をせず、過度な疲労蓄積を避け、怪我のリスクを最小限に抑えながら長期間継続することが望ましい。

以上の点を踏まえると、高齢者における週1回のエクササイズトレーニングは、身体機能等への効果に加え、無理なく習慣化できるという利点を有していると考えられる。しかし、既存のトレーニング研究は3ヶ月から6ヶ月間の短期的影響を検証したものが多く、年単位で継続し、その縦断的变化を検証した研究は、文献渉猟の範囲内では報告されていない。年単位の長期間においては、トレーニング効果と加齢による生理的变化が相互に作用することが予想されるが、その詳細はこれまでに明らかにされていない。したがって本研究では、地域在住高齢者を対象に3年間の縦断研究を実施し、3ヶ月間のプログラムを3ヶ月毎に繰り返す「断続的な長期トレーニング」が、体力、脚筋肉量、動脈ステイフネスに及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

II. 方法

A. 対象者

本研究の対象は、大阪府茨木市および高槻市に在住する自立高齢者であり、追手門学院大学と茨木市、ならびに各協力団体が連携して実施している運動教室に、2022年度から2024年度までの3年間継続して在籍した者とした。なお、分析対象は「3年間の運動トレーニングを継続し、かつ定期的にアウトカム指標の測定会に参加した者」に限定した。

2022年4月時点では55名が在籍していたが、約3年後の2024年度末時点では38名となった。その中でトレーニング参加と測定会参加の要件を満たす者は32名(うち男性5名)であった。2022年度開始時における32名の平均年齢は75.0 ± 4.9歳(平均値 ± 標準偏差)で

あった。

なお、本研究は追手門学院大学研究倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号:2022-7, 2022-30, 2023-41)。対象者には、事前に研究目的、方法、予期される利益と不利益、個人情報保護等について十分な説明を行い、書面による研究参加への同意(インフォームド・コンセント)を得た。

B. グループ分け(運動グループ, 分析グループ)

参加者は、陸上運動を実施するグループ(以下、LEG)と水中運動を実施するグループ(以下、WEG)に分かれてトレーニングを行った。LEGは大学の体育館、WEGは市民プール2箇所を利用し、計3箇所で開催した。2022年4月時点の在籍者は55名(LEG:23名[男性3名], WEG:32名[男性7名])であったが、2024年度末まで継続して参加していた者は38名(LEG:18名[男性1名], WEG:20名[男性4名])であった。最終的に3年間のトレーニングと定期測定を完了した分析対象者は、LEGが16名(男性1名)、WEGが16名(男性4名)の計32名であった。本研究では、前述の通り2022年度開始時の分析対象者32名の平均年齢が75.0歳であり、また、LEGの平均年齢(77.1 ± 4.6歳)がWEGの平均年齢(72.8 ± 4.3歳)よりも有意に高値を示した($p < 0.05$)。このことから、本対象者においては運動様式の違いよりも年齢による影響が強く反映されたと考え、2022年4月1日時点の年齢に基づき、75歳以上の群(以下、 ≥ 75 歳群)と75歳未満の群(以下、 < 75 歳群)に分類し、週1回の集団エクササイズによる縦断的な長期間トレーニングの影響を比較した。各群の内訳は、 ≥ 75 歳群が14名(平均年齢79.7 ± 2.6歳)、 < 75 歳群が18名(平均年齢71.3 ± 2.3歳)であった。

C. トレーニング

運動トレーニングは、有酸素運動を中心とした集団エクササイズ様式とした。実施頻度は週1回、1セッション45分間とし、春期(概ね4~6月)および秋期(概ね10~翌年1月)に各13回実施した(図1)。図1の点線矢印は、エクササイズセッションが開催されない非介入期間(2.5~3ヶ月間)を示す。本研究の対象者は2022年4月から2025年1月までの約3年間、断続的に当該プログラムに参加した。期間中の総セッション数は78回であった。

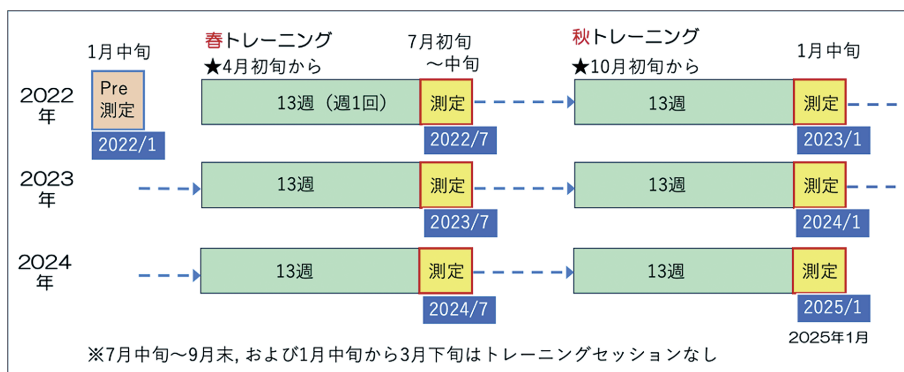


図1 トレーニング期と測定会の実施時期の概略

集団エクササイズの指導は、連携協力団体のインストラクターが担当した。参加者はインストラクターの指示に従い、各自の体調に合わせて強度を調整しながら45分間の運動を行った。

D. 測定

① 各エクササイズセッション

トレーニング群は、体調チェックを兼ねてセッションの前後に上腕式血圧計で安静時の血圧測定を行った。また、運動後に主観的運動強度（RPE：Relative Perceived Exertion）を記録した。

② 各トレーニング期後の測定会

図1に示す通り、2022年1月にプレ測定を実施し、後述する③のアウトカム指標を測定した。その後、2025年1月まで半年毎にトレーニング期と測定会を組み合わせ開催した。なお、各測定会は、トレーニング期間終了後、概ね2週間以内を目処に実施した。

③ トレーニングアウトカム指標

<体力指標>

文部科学省「新体力テスト」⁸⁾の高齢者向け6項目（握力、長座体前屈、上体起こし、開眼片足立ち、10m障害物歩行、6分間歩行）について、実施要項に準拠して測定した。また、動的バランス能力の指標としてTimed Up and Go (TUG)を用いた。測定は標準的な方法（往復6m）にて2回行い、良好な値（最速値）を採用した。

<身体組成指標>

身長および体重の測定後、多周波生体電気インピーダンス法（BIA）を用いた体成分分析装置（InBody 430, InBody Japan社）により身体組成を測定した。対象者は測定中に素足で装置台上に立ち、把持型手電極を持ちながら、立位安静状態を維持した。本研究では、同装置から得られた「脚の筋肉量」ならびに「四肢の筋肉量」から算出される骨格筋指数（Skeletal Muscle Index: SMI）をアウトカム指標とした。骨格筋指数の算出式は以下の通りである。

・骨格筋指数（Skeletal Muscle Index: SMI）

$$SMI = (\text{左右上肢の筋肉量 [kg]} + \text{左右下肢の筋肉量 [kg]}) / \text{身長 [m]}^2$$

<循環器系指標>

動脈スティフネスの指標として、上腕-足首間脈波伝播速度（brachial-ankle Pulse Wave Velocity: baPWV）を用いた。測定には血圧脈波検査装置（form BP-203RPE III, オムロンコーリン社）を使用した。

測定にあたっては、対象者をベッド上で仰臥位とし、約3分間の安静を保った状態で実施した。カフを左右の上腕および足首に、心電図電極を両手首内側に装着し、自動計測を行った。

E. データ取得と統計処理

すべての測定値は、平均値±標準偏差で示した。体力測定において2回計測を実施した項目については、より良好な値（最良値）を採用した。動脈スティフネスは、左右の平均値を分析値として用いた。プレ測定と最終測定との群内比較、および2時点での群間比較には、

Student の t 検定を用いた。各指標の経年変化については、年齢群 (≥ 75 歳群 / < 75 歳群) を被験者間要因、測定時期 (7 水準) を被験者内要因とする二要因混合分散分析 (Two-way mixed ANOVA) を行った。また、変数間の相関関係の検証には、ピアソンの積率相関係数を用いた。すべての統計解析には統計ソフトウェア IBM SPSS Statistics Ver.27 (IBM Corp.) を使用し、有意水準は 5% 未満 ($p < 0.05$) とした。

Ⅲ. 結果

A. トレーニングセッション参加回数

図 2 に各群のセッション参加回数を示す。≥ 75 歳群の平均参加回数は < 75 歳群と比較して低値を示したが、両群間に統計学的有意差は認められなかった。本研究の分析対象者全体における平均参加回数は 65.4 回であり、全 78 セッションに対する参加率は 84% であった。

B. エクササイズセッションにおける運動強度

運動強度の指標として測定した RPE (主観的運動強度) は、全対象者 (32 名) の平均値で 12.2 ± 1.2 であった。この値は、Borg スケールの「11: 楽である」から「13: ややきつい」の中間に相当する強度である。

年齢群別の平均値は、< 75 歳群が 11.8 ± 1.2 、≥ 75 歳群が 12.7 ± 1.0 であり、≥ 75 歳群において有意に高い値が確認された ($p < 0.05$)。

C. 各指標のプレ測定値と最終測定値の比較

3 年間の各指標の変化について、< 75 歳群と ≥ 75 歳群で比較した結果を表 1 (A) に示す。

< 75 歳群の変化において、有意な改善が認められたのは長座体前屈 ($34.4 \pm 10.7 \rightarrow 36.9 \pm 11.7\text{cm}$, $p < 0.05$) のみであった。一方で、握力は有意に低下し ($27.8 \pm 6.1 \rightarrow 26.4 \pm 5.1\text{kg}$, $p < 0.05$)、動脈スティフネスの指標である baPWV は有意な上昇 (悪化) を示した ($1655.1 \pm 287.1 \rightarrow 1729.7 \pm 322.8\text{cm/s}$, $p < 0.05$)。

≥ 75 歳群の変化では、複数の項目において有意な機能低下が認められた。具体的には、握力の低下 ($25.6 \pm 5.4 \rightarrow 24.3 \pm 4.7\text{kg}$, $p < 0.05$) に加え、10m 障害物歩行時間の延長 ($7.6 \pm 1.1 \rightarrow 8.2 \pm 1.3$ 秒, $p < 0.05$)、および開眼片足立ち時間の大幅な短縮 ($66.1 \pm 44.6 \rightarrow 47.6 \pm 49.2$ 秒, $p < 0.05$) が確認された。

プレ測定 (ベースライン) における群間比較 (< 75 歳群 vs ≥ 75 歳群) では、6 分間歩行距離、開眼片足立ち時間、TUG、および baPWV の 4 指標において有意差が認められ (いずれも $p < 0.05$)、≥ 75 歳群において一貫して機能が低い傾向にあった。

最終測定における群間比較では、10m 障害物歩行時間、6 分間歩行距離、TUG、および baPWV の 4 指標において有意差が認められ (いずれも $p < 0.05$)、プレ測定と同様に、≥ 75 歳群の機能低下が顕著であった。

表 1 (B-1, B-2) に、性別ごとのプレ測定値と最終測定値の比較を示す。男性については対象者数が少ないため、統計検定は実施せず、記述統計量の提示のみとした。

女性における ≥ 75 歳群の群内比較および群間比較の傾向は、表 1 (A) と同様であった。一方、女性の < 75 歳群におけるプレと最終値の比較では、上体起こしの回数にのみ有意な改善が認められた ($p < 0.05$)。

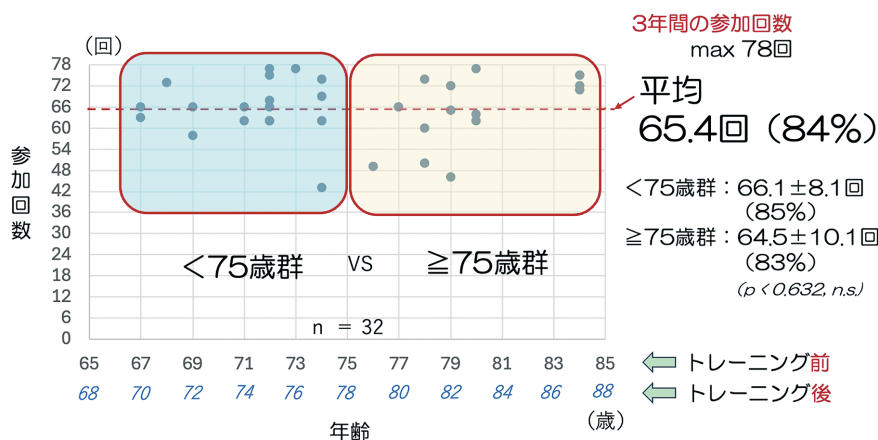


図 2 各対象者の年齢とトレーニング参加回数

表1 各指標のプレ測定値と最終測定値の比較：(A) 年齢群別比較, (B) 年齢群別・性別比較
(A) 年齢群別比較

	< 75 歳群 (全体 n=18)		≥ 75 歳群 (全体 n=14)		
	プレ測定値 (2022.1)	最終測定値 (2025.1)	プレ測定値 (2022.1)	最終測定値 (2025.1)	
握力 (kg)	27.8 ± 6.1 *	26.4 ± 5.1	25.6 ± 5.4 *	24.3 ± 4.7	
上体起こし (回 /30 秒)	11.9 ± 5.1	13.2 ± 4.4	10.5 ± 6.7	11.5 ± 5.8	
長座体前屈 (cm)	34.4 ± 10.7 *	36.9 ± 11.7	35.4 ± 6.9	35.4 ± 7.9	
10m 障害物歩行 (秒)	7.1 ± 1.2	6.8 ± 1.3	7.6 ± 1.1 *	8.2 ± 1.3	§
6 分間歩行 (m)	599.4 ± 46.0	598.9 ± 51.1	540.3 ± 50.3	535.6 ± 66.7	†, §
開眼片足立ち (秒)	101.4 ± 32.6	80.7 ± 41.5	66.1 ± 44.6 *	47.6 ± 49.2	†
TUG (秒)	5.2 ± 0.7	5.1 ± 0.7	5.8 ± 0.7	6.0 ± 1.2	†, §
脚筋肉量 (kg)	12.1 ± 2.3	12.0 ± 2.3	10.8 ± 1.9	10.6 ± 1.7	
骨格筋指数 (kg/m ²)	6.25 ± 0.84	6.26 ± 0.85	6.25 ± 0.76	6.18 ± 0.68	
baPWV (cm/ 秒)	1655.1 ± 287.1 *	1729.7 ± 322.8	2025.3 ± 353.1	2000.6 ± 390.6	†, §

平均値 ± 標準偏差

(B-1) 女性における年齢群別比較

	< 75 歳群 (女性 n=14)		≥ 75 歳群 (女性 n=13)		
	プレ測定値 (2022.1)	最終測定値 (2025.1)	プレ測定値 (2022.1)	最終測定値 (2025.1)	
握力 (kg)	25.4 ± 4.0	24.4 ± 3.1	24.6 ± 4.1 *	23.4 ± 3.2	
上体起こし (回 /30 秒)	11.1 ± 4.7 *	12.9 ± 4.3	10.2 ± 6.9	11.4 ± 6.1	
長座体前屈 (cm)	36.5 ± 8.4	39.2 ± 9.5	35.1 ± 7.1	36.0 ± 7.9	
10m 障害物歩行 (秒)	7.2 ± 1.2	6.7 ± 1.3	7.6 ± 1.2 *	8.1 ± 1.4	§
6 分間歩行 (m)	594.1 ± 43.7	591.4 ± 46.8	537.7 ± 51.4	533.4 ± 68.9	†, §
開眼片足立ち (秒)	102.8 ± 29.5	86.1 ± 39.2	70.0 ± 43.8 *	51.0 ± 49.5	†
TUG (秒)	5.2 ± 0.6	5.1 ± 0.6	5.8 ± 0.7	6.1 ± 1.2	†, §
脚筋肉量 (kg)	11.3 ± 2.0	11.3 ± 2.0	10.4 ± 1.3	10.3 ± 1.1	
骨格筋指数 (kg/m ²)	5.9 ± 0.7	6.0 ± 0.7	6.1 ± 0.6	6.1 ± 0.5	
baPWV (cm/ 秒)	1600.5 ± 222.4	1661.2 ± 224.8	2028.6 ± 367.3	2020.7 ± 399.0	†, §

平均値 ± 標準偏差

(B-2) 男性における年齢群別比較

	< 75 歳群 (男性 n=4)		≥ 75 歳群 (男性 n=1)		
	プレ測定値 (2022.1)	最終測定値 (2025.1)	プレ測定値 (2022.1)	最終測定値 (2025.1)	
握力 (kg)	36.2 ± 4.4	33.3 ± 4.7	38.3	36.7	
上体起こし (回 /30 秒)	14.8 ± 6.2	14.3 ± 5.3	14.0	12.0	
長座体前屈 (cm)	27.1 ± 15.7	28.8 ± 16.3	38.8	27.5	
10m 障害物歩行 (秒)	6.9 ± 1.3	6.8 ± 1.5	7.4	8.5	
6 分間歩行 (m)	617.9 ± 55.9	624.9 ± 64.4	573.0	564.0	
開眼片足立ち (秒)	96.5 ± 47.0	61.9 ± 50.0	15.0	3.2	
TUG (秒)	5.1 ± 0.8	5.1 ± 0.9	6.0	5.4	
脚筋肉量 (kg)	14.7 ± 1.0	14.7 ± 1.3	15.7	15.4	
骨格筋指数 (kg/m ²)	7.3 ± 0.4	7.3 ± 0.4	8.1	7.9	
baPWV (cm/ 秒)	1845.9 ± 436.4	1969.5 ± 522.5	1982	1740	

有意差 * p < 0.05 : 同一群のプレ測定値と最終測定値を比較

平均値 ± 標準偏差

† p < 0.05 : 両年齢群のプレ測定値を比較

§ p < 0.05 : 両年齢群の最終測定値を比較

D. 筋力、体幹筋持久力と柔軟性の経年変化

①握力

体力測定の前筋力評価における代表的な指標である握力の経年変化を図3に示した。測定時期の主効果が認められた ($F(6, 180) = 5.13, p < 0.001$)。すなわち、経年的に両群とも握力が低下する傾向が認められた。

一方、年齢群の主効果 ($F(1, 30) = 1.55, p = 0.22$) および測定時期と年齢群の交互作用 ($F(6, 180) = 0.78, p = 0.59$) はいずれも有意ではなかった。

②上体起こし

上体起こしは、腰痛等の外科的なコンディション不良によって測定を回避される参加者が1, 2名いた(図3)。二要因混合分散分析を行った結果、測定時期の主効果 ($F(6, 171) = 1.06, p = 0.39$)、年齢群の主効果 ($F(1, 29) = 0.96, p = 0.34$)、および測定時期と年齢群の交互作用 ($F(6, 171) = 1.21, p = 0.30$) は、いずれも有意ではなかった。個人データの変動が大きい、年齢群ごとの変化パターン(初期から微増する傾向)は同様であることが確認された。

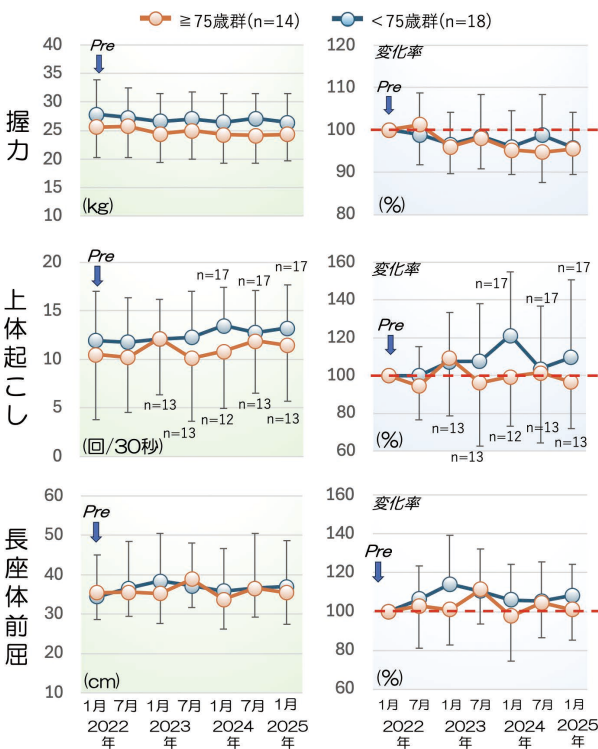


図3 筋力、体幹筋持久力と柔軟性の経年変化

各プロットは、平均値±標準偏差を示す。変化率は、プレ測定値(100%)からの変化率を示す。

† : $p < 0.05$ (≥75歳群のプレ vs 最終値)

③長座体前屈

長座体前屈データの経年変化を図3に示した。長座体前屈においても、測定時期の主効果 ($F(6, 180) = 1.42, p = 0.21$)、年齢群の主効果 ($F(1, 30) = 0.24, p = 0.63$)、および測定時期と年齢群の交互作用 ($F(6, 180) = 1.20, p = 0.31$) は、いずれも有意ではなかった。すなわち、年齢群ごとの推移は同様であり、経年的な変化における特徴は確認できなかった。

E. 歩行系体力とバランス能力の経年変化

① 10m 障害物歩行

10m 障害物歩行データの経年変化を図4に示した。二要因混合分散分析の結果、測定時期の主効果は有意傾向にとどまった ($F(6, 180) = 2.03, p = 0.06$)。一方で、年齢群の主効果が認められ ($F(1, 30) = 5.37, p = 0.03$)、さらに測定時期と年齢群の交互作用も有意であった ($F(6, 180) = 5.79, p < 0.001$)。

すなわち、グラフからも明らかのように、≥75歳群は経年的にタイムが悪化し、<75歳群では、改善する変化傾向が確認できた。

② 6分間歩行

6分間歩行データの経年変化を図4に示した。6分間歩行距離については、測定時期の主効果が認められた ($F(6, 179) = 2.28, p = 0.04$)。また、年齢群の主効果も有意であり ($F(1, 30) = 10.92, p = 0.002$)、測定時期によらず≥75歳群と<75歳群との間で成績に差がみられた。測定時期と年齢群の交互作用は有意傾向にとどまり ($F(6, 179) = 1.91, p = 0.08$)、経時的な変化パターンの違いは統計学的には明確ではなかった。

③開眼片足立ち

開眼片足立ちデータの経年変化(図4)においては、測定時期の主効果 ($F(6, 180) = 2.70, p = 0.02$) および年齢群の主効果 ($F(1, 30) = 12.65, p = 0.001$) がいずれも有意であった。一方、測定時期と年齢群の交互作用は認められなかった ($F(6, 180) = 0.95, p = 0.46$)。プレ測定値を100%とした変化率でみた経年変化においては、<75歳群は100%を維持する傾向にあったが、≥75歳群では、約50%まで減少する傾向がみられた。

④ TUG

TUGデータの経年変化(図4)に関しては、測定時期の主効果は認められなかった ($F(6, 180) = 1.46, p = 0.20$)。一方で、年齢群の主効果は有意であり ($F(1,$

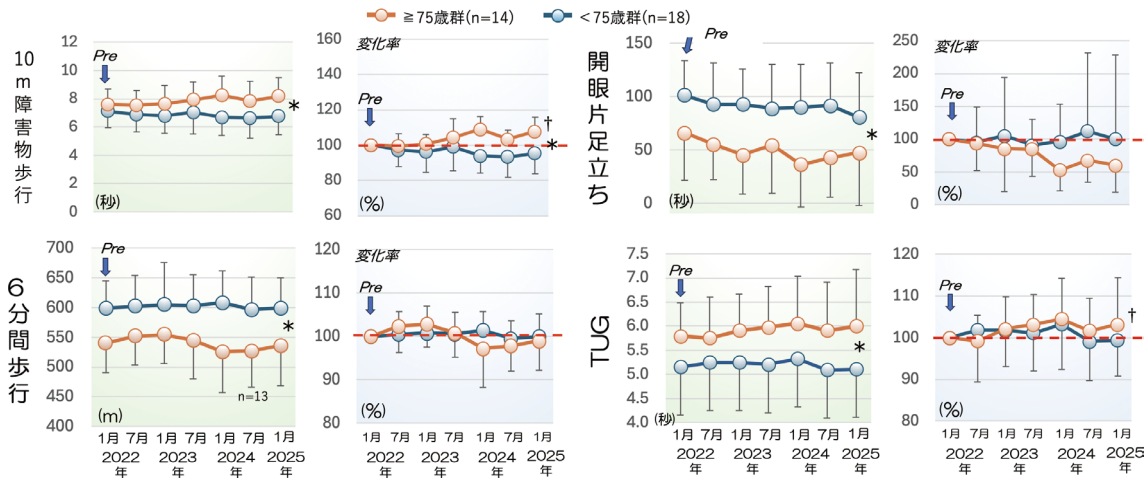


図4 歩行系体力とバランス能力の経年変化

各プロットは、平均値±標準偏差を示す。変化率は、プレ測定値（100%）からの変化率を示す。

*: グループ間の平均的傾向に差あり $p < 0.05$

30) = 6.80, $p = 0.01$), 測定時期にかかわらず ≥ 75 歳群の方が < 75 歳群よりタイムが遅かった。測定時期と年齢群の交互作用は認められなかった ($F(6, 180) = 1.11, p = 0.36$)。

F. 脚筋肉量と骨格筋指数の経年変化

①脚筋肉量

図5の上段に脚筋肉量データの経年変化を示した。従属変数を脚筋量として二要因混合分散分析を行った結果、測定時期の主効果が認められた ($F(6, 180) = 7.94, p < 0.001$)。一方、年齢群の主効果は有意傾向にとどまり ($F(1, 30) = 3.22, p = 0.08$)、測定時期と年齢群の交互作用も認められなかった ($F(6, 180) = 0.72, p = 0.64$)。

②骨格筋指数 (SMI)

図5の下段に骨格筋指数データの経年変化を示した。測定時期の主効果が認められた ($F(6, 180) = 8.81, p < 0.001$)。しかし、年齢群の主効果 ($F(1, 30) = 0.04, p = 0.85$) および測定時期と年齢群の交互作用 ($F(6, 180) = 0.74, p = 0.62$) は、いずれも有意ではなかった。

G. 動脈スティフネス (baPWV) の経年変化

動脈スティフネスの経年変化を図6に示した。測定時期の主効果 ($F(6, 179) = 3.04, p = 0.007$) および年齢群の主効果 ($F(1, 30) = 11.33, p = 0.002$) がいずれも有意であった。一方、測定時期と年齢群の交互作用は認

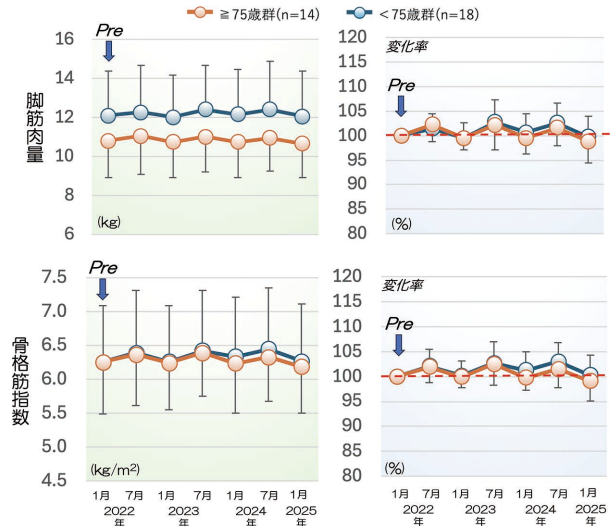


図5 脚筋肉量と骨格筋指数 (SMI) の経年変化

各プロットは、平均値±標準偏差を示す。変化率は、プレ測定値（100%）からの変化率を示す。

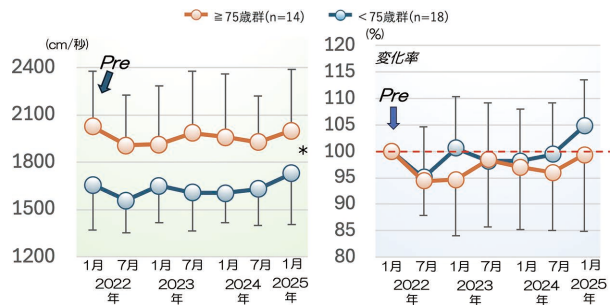


図6 動脈スティフネスの経年変化

各プロットは、平均値±標準偏差を示す。変化率は、プレ測定値（100%）からの変化率を示す。

*: グループ間の平均的傾向に差あり $p < 0.05$

められなかった (F (6, 179) = 0.94, p = 0.47).

H. 脚関連指標の相関分析

① 3年間の開眼片足立ち平均値と変動係数 (CV) 平均値の相関関係

図7に示すように、3年間の開眼片足立ち平均値 (プレ測定値除く) と CV 平均値の間には、有意な負の相関関係がみられた ($r = -0.6157$, $p < 0.05$). また、記録が低値を示す者ほど CV 値が高くなる傾向にあった。記録平均値が60秒未満の者が12名いる中で、うち10名が ≥ 75 歳群であった。一方、60秒を超える者は14名で、うち11名が < 75 歳群であった。各回の測定で上限の120秒を達成した、最高レベルの者は6名であった。当該被

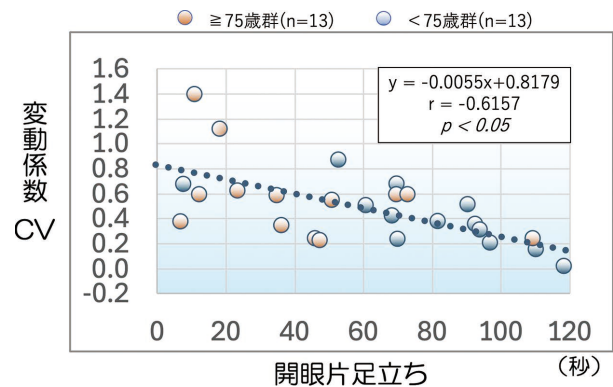


図7 3年間の開眼片足立ち平均値と変動係数 (CV) 平均値の相関関係

※プレ測定を除く3年間の平均測定値。全て120秒の上限に達してCVが0の者は除いた。

表2 脚筋肉量・骨格筋指数 (SMI) と脚関連体力指標、各変化量間の相関関係

< 75歳群		n=18	脚筋肉量	骨格筋指数
	変化量 Δ		-0.04 ± 0.48 (kg)	0.01 ± 0.25 (kg/m ²)
10 m障害物歩行	-0.35 ± 0.84 (秒)		n.s.	n.s.
6分間歩行	-0.5 ± 30.9 (m)		n.s.	n.s.
開眼片足立ち	-20.7 ± 42.6 (秒)		n.s.	n.s.
TUG	-0.05 ± 0.46 (秒)		n.s.	n.s.
平均値±標準偏差				
≥ 75 歳群		n=14	脚筋肉量	骨格筋指数
	変化量 Δ		-0.15 ± 0.45 (kg)	-0.07 ± 0.23 (kg/m ²)
10 m障害物歩行	0.57 ± 0.55 (秒)		n.s.	n.s.
6分間歩行	-4.6 ± 35.7 (m)		n.s.	n.s.
開眼片足立ち	-18.5 ± 27.7 (秒)		n.s.	n.s.
TUG	0.21 ± 0.70 (秒)		n.s.	n.s.
平均値±標準偏差				
全体		n=32	脚筋肉量	骨格筋指数
	変化量 Δ		-0.09 ± 0.46 (kg)	-0.03 ± 0.24 (kg/m ²)
10 m障害物歩行	0.06 ± 0.85 (秒)		r = -0.3535*	r = -0.4071*
6分間歩行	-2.3 ± 32.6 (m)		r = 0.3792*	r = 0.3608*
開眼片足立ち	-19.7 ± 36.1 (秒)		n.s.	n.s.
TUG	0.06 ± 0.58 (秒)		r = -0.4102*	r = -0.3589*
平均値±標準偏差				

変化量 Δ = 最終測定値 - プレ測定値 * : p < 0.05

表3 脚関連体力の各指標間の相関関係

< 75 歳群	n=18	10 m障害物歩行	6 分間歩行	開眼片足立ち	TUG
	変化量 Δ	-0.35 ± 0.84 (秒)	-0.5 ± 30.9 (m)	-20.7 ± 42.6 (秒)	-0.05 ± 0.46 (秒)
10 m障害物歩行	-0.35 ± 0.84 (秒)		r =-0.4819*	n.s.	r =0.4876*
6 分間歩行	-0.5 ± 30.9 (m)			r =0.5040*	r =-0.4967*
開眼片足立ち	-20.7 ± 42.6 (秒)				n.s.
TUG	-0.05 ± 0.46 (秒)				
平均値±標準偏差					
≥ 75 歳群	n=14	10 m障害物歩行	6 分間歩行	開眼片足立ち	TUG
	変化量 Δ	0.57 ± 0.55 (秒)	-4.6 ± 35.7 (m)	-18.5 ± 27.7 (秒)	0.21 ± 0.70 (秒)
10 m障害物歩行	0.57 ± 0.55 (秒)		n.s.	n.s.	n.s.
6 分間歩行	-4.6 ± 35.7 (m)			r =0.6006*	r =-0.8301*
開眼片足立ち	-18.5 ± 27.7 (秒)				n.s.
TUG	0.21 ± 0.70 (秒)				
平均値±標準偏差					
全体	n=32	10 m障害物歩行	6 分間歩行	開眼片足立ち	TUG
	変化量 Δ	0.06 ± 0.85 (秒)	-2.3 ± 32.6 (m)	-19.7 ± 36.1 (秒)	0.06 ± 0.58 (秒)
10 m障害物歩行	0.06 ± 0.85 (秒)		r =-0.4217*	n.s.	r =0.4652*
6 分間歩行	-2.3 ± 32.6 (m)			r =0.5139*	r =-0.6773*
開眼片足立ち	-19.7 ± 36.1 (秒)				n.s.
TUG	0.06 ± 0.58 (秒)				
平均値±標準偏差					

変化量 Δ = 最終測定値－プレ測定値 * : p < 0.05

験者は CV 値がゼロのため図7のグラフからは除いた。6名のうち、5名が<75歳群であった。

②脚筋肉量・骨格筋指数と脚関連体力指標、各変化量間の相関関係

各年齢群において、各指標変化量の間には有意な相関関係はみられなかった(表2上段, 中段)。両群を合わせた全体のデータでみると、脚筋肉量の変化量は、開眼片足立ちを除く、10 m障害物歩行、6分間歩行、TUGの各変化量との間に有意な正または負の相関関係(p < 0.05)を示した(表2下段)。骨格筋指数も同様な傾向を示し、3指標の各変化量との間に有意な相関関係を示した(p < 0.05)。

③脚関連体力の各指標間の相関関係

表3に示すように、<75歳群および全体のマトリク

スでは、6分間歩行と他の3つの指標との間に有意な相関関係(p < 0.05)がみられた。他にも、10 m障害物歩行とTUGの間に有意な相関関係(p < 0.05)がみられた。≥75歳群では、6分間歩行と開眼片足立ち、およびTUGとの間に0.6以上の相関係数が示され、特にTUGとの間にr = -0.8301(p < 0.05)の強い負の相関が確認された。

1. 動脈スティフネスと脚筋肉量の変化量の関係

プレ測定値と最終測定値の差分による変化量を、動脈スティフネスと脚筋肉量において求め、これら2指標間の相関関係を確認した。図8に示すように、≥75歳群で有意な負の相関関係(p < 0.05)が確認され、動脈スティフネスの上昇度が大きい者は、脚筋肉量の低下度が

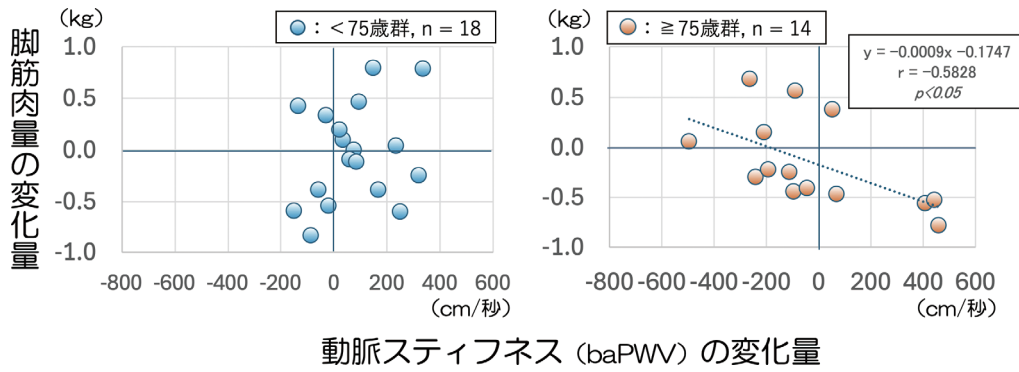


図8 動脈スティフネスの変化量と脚筋肉量の変化量との関係

※両指標の相関関係をブレ値から最終値への変化量を用いて求めた。≥75歳群において有意な負の相関が認められた。同群での年齢の影響を調整した偏相関係数は、 $r = -0.591$ であり、同様に有意であった ($p < 0.05$)。

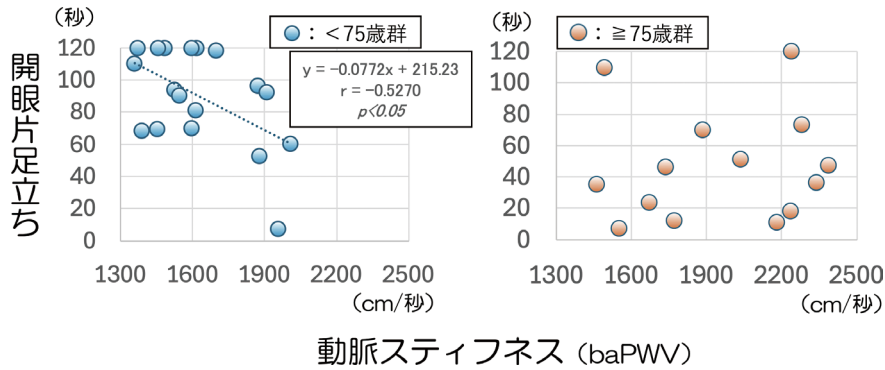


図9 動脈スティフネスとバランス能力の関係

※両指標の相関関係を3年間6回の測定平均値を用いて求めた。<75歳群において有意な負の相関が認められた。年齢の影響を調整した偏相関係数は、 $r = -0.496$ であり、同様に有意であった ($p < 0.05$)。

大きいことが示された。<75歳群では、有意な相関関係が認められなかった。

J. 動脈スティフネスとバランス能力の関係

動脈スティフネスと、バランス能力の指標である開眼片足立ちに関して、3年間(6回測定)の平均値を各対象者において算出した。両指標の相関を群別に確認したところ、<75歳群において有意な負の相関関係 ($p < 0.05$) がみられた(図9)。≥75歳群では、14名中10名(71.4%)が開眼片足立ちの記録が60秒を下回り、8名(57.1%)が、心血管イベントリスクが高まるカットオフ値、1800cm/秒^{9, 10)}を上回っていた。<75歳群においては、2名を除く16名(88.9%)の開眼片足立ちが60秒以上であった。また、1800cm/秒を上回っていた

者は、5名(27.8%)であった。

IV. 考察

A. 対象者の年齢・参加回数・運動強度

本研究では、トレーニング群の対象者を<75歳群と≥75歳群の2群に分け、群間比較を行った。両群の平均年齢差は約8歳であり、図2に示す通り、研究終了時点における各群の最高齢はそれぞれ77歳および88歳であった。本研究は、前期高齢者および後期高齢者を対象として、運動トレーニングが体力や循環器指標に及ぼす影響を比較検討した点に特徴がある。

エクササイズセッションの参加回数に両群間で有意差は認められず、平均参加率は84%であった。本研究では、3年間で計6回のトレーニング期(各3ヶ月間)を

設定した。週1回のセッションに対し8割を超える参加率が維持されたことは、日常生活の身体活動水準を上回る十分な運動習慣が定着していたことを示唆する。

主観的運動強度（RPE）には年齢群間で有意差が認められ、 ≥ 75 歳群は < 75 歳群と比較して約7%高い値を示した（ 12.7 ± 1.0 ）。Simonsickら¹¹⁾は、60-89歳の572名を対象に5分間の低速度歩行（0.67m/s）後のRPEを測定し、より高齢なグループほどRPEが高く、疲労の感受性が増すことを報告している。本研究で実施した運動は、約45分間のエアロビックダンス系運動であり、先行研究の低速歩行よりも強度は高いと推測されるが、同一の運動負荷に対する疲労感が70歳代前半と後半で異なるという傾向は一致していた。

また、RPEの標準偏差が小さいことから、群内における個々の運動強度が均等に維持されていたことが示唆される。

B. 各体力指標の推移

握力については、 < 75 歳群および ≥ 75 歳群ともにプレ測定値と比較して最終測定値で有意な低下が認められた。低下量は ≥ 75 歳群で1.3kg、 < 75 歳群で1.4kgであり、両群で同程度の低下を示した。Frederiksenら¹²⁾による先行研究では、握力の平均的な年間低下量は男性0.59kg、女性0.31kgと報告されており、3年間で1.3～1.4kgという本研究の減少量は、これら先行研究の報告と概ね一致する。このことから、本研究で実施した全身的な有酸素運動を中心とするトレーニングは、加齢に伴う握力低下を抑制するほどの効果は有さなかったことが示唆される。スポーツ庁の令和6年度「体力・運動能力調査」¹³⁾では、運動・スポーツ実施頻度が「ときどき（週1～2日程度）」の者における握力は、女性の70～74歳で24kg、75～79歳で23kg、男性の70～74歳で38kg、75～79歳で35kgと報告されている。本研究の対象者（表1（B-1, B-2））は、女性が < 75 歳群で約25kg、 ≥ 75 歳群で約24kg、男性が < 75 歳群で33～36kg、 ≥ 75 歳群で36～38kgであり、概ね同年代の平均的な握力レベルにあることが確認できる。

上体起こしは、高齢者において身体コンディションの影響を受けやすく、測定の実施回避や記録のばらつきが散見された項目である。 < 75 歳群では一時的にプレ測定値の120%に達したものの、最終的には両群とも3年間を通して有意な変化は認められなかった。この結果

は、トレーニング効果として、3年間にわたり両群の体幹筋力が維持された可能性を示唆している。前述のスポーツ庁調査¹³⁾において、上体起こしの平均値は、女性の70～74歳で9.6回、75～79歳で8.2回、男性の70～74歳で14.7回、75～79歳で12.5回と報告されている。これに対し本研究の結果（表1（B-1, B-2））は、 < 75 歳群女性で11～13回、 ≥ 75 歳群女性で約11回、 < 75 歳群男性で約15回、 ≥ 75 歳群男性で12～14回であり、全国平均と同等かやや高い値を示した。したがって、本研究の参加者は、腰部等の不調者を除き、体幹筋力レベルが標準以上の水準で3年間維持されていたと考えられる。

長座体前屈は、ハムストリングスおよび腰部の柔軟性指標であるが、本研究における3年間の測定において、上体起こしと同様に有意な変化や群間差は認められなかった。すなわち、両群とも3年間柔軟性が維持されていたといえる。本研究の測定値（表1（B-1, B-2））は、 < 75 歳群女性で37～39cm、 ≥ 75 歳群女性で約36cm、 < 75 歳群男性で27～29cm、 ≥ 75 歳群男性で27～38cmであった。これをスポーツ庁調査データ¹³⁾（女性：70～74歳39.6cm、75～79歳39.2cm／男性：70～74歳35.1cm、75～79歳33.8cm）と比較すると、 < 75 歳群では低い値を示した（女性：-2～-7%、男性：-18～-24%）。本研究のプログラムには柔軟性を強化する特定の運動が含まれていなかったが、高齢者の体幹柔軟性と姿勢バランスには強い相関関係があること¹⁴⁾を踏まえると、今後は標準的な柔軟性の獲得を目的として、日常の運動プログラムに柔軟性向上を促す動作を積極的に組み込む必要があると考えられる。

10m障害物歩行は、高さ20cmのブロックを、下肢を挙上して正面からまたぐ歩行課題であり、通常歩行よりも難易度が高い。本研究における平均値（表1（B-1, B-2））は、 < 75 歳群女性で6.7～7.2秒、 ≥ 75 歳群女性で7.6～8.1秒、 < 75 歳群男性で約6.9秒、 ≥ 75 歳群男性で7.4～8.5秒であった。図4に示す通り、 < 75 歳群と比較して ≥ 75 歳群では経年的な歩行時間の延長（能力低下）が確認された（ $p < 0.05$ ）。変化率においては、平均年齢が80歳を超える頃からタイムの悪化が顕著となる傾向が示された。

スポーツ庁の調査データ¹³⁾（女性：70～74歳7.04秒、75～79歳7.46秒／男性：70～74歳6.20秒、75～79歳6.81秒）と比較すると、 < 75 歳群女性を除くすべて

の区分において、本研究の対象者は調査データよりも遅い値を示した。その差の大きさは、 < 75 歳群女性では $-3 \sim -5\%$ （速い～やや遅い）の範囲であった一方、 ≥ 75 歳群女性では $2 \sim 8\%$ 、 < 75 歳群男性では約 11% 、 ≥ 75 歳群男性では $8 \sim 20\%$ 遅く、特に ≥ 75 歳群男性において差が拡大する傾向が認められた。

以上の結果より、後期高齢者においては転倒予防の観点からも、障害物歩行能力の維持に特に留意する必要があると考えられる。介入・指導の観点からは、持久的トレーニングに加え、障害物をまたぐ動作に必要な股関節屈曲筋群（大腰筋・腸骨筋・大腿直筋）、片脚支持期に上体・骨盤を安定させる中殿筋および体幹筋群、さらに蹴り出しや重心の前方移動に関与する下腿三頭筋や前脛骨筋などを、総合的に強化するプログラムの必要性が示唆された。

6分間歩行については、 < 75 歳群女性が $591 \sim 594\text{m}$ 、 ≥ 75 歳群女性が $533 \sim 538\text{m}$ 、 < 75 歳群男性が $618 \sim 625\text{m}$ 、 ≥ 75 歳群男性が $564 \sim 573\text{m}$ であった（表1（B-1, B-2））。図4（男女合算）に示すように、年齢群間の差は顕著であった。 < 75 歳群は3年間の後半期においても歩行距離を概ね維持しているのに対し、 ≥ 75 歳群では距離の短縮（低下）が大きいことが示された。

スポーツ庁調査データ¹³⁾（女性： $70 \sim 74$ 歳 570.3m 、 $75 \sim 79$ 歳 553.4m ／男性： $70 \sim 74$ 歳 601.1m 、 $75 \sim 79$ 歳 577.9m ）との比較においても、同様の群間差が確認された。すなわち、 < 75 歳群は男女とも全国平均より約 4% 高い値（長い距離）を示した一方、 ≥ 75 歳群は女性で約 4% 、男性で約 2% 全国平均よりも低い値を示した。

地域在宅高齢者を対象としたBautmansら¹⁵⁾の横断研究では、高齢者の6分間歩行距離は加齢に伴い漸減すると報告されており、同研究の推定式では、健康な高齢者において3年間に約 20m の自然低下が生じるとされている。これに対し、本研究の3年間の測定データでは、 < 75 歳群で $3 \sim 7\text{m}$ 、 ≥ 75 歳群で $4 \sim 9\text{m}$ の低下にとどまった（表1（B-1, B-2））。 ≥ 75 歳群の方が低下度は大きいものの、運動トレーニングを行っていない一般高齢者を対象としたBautmansら¹⁵⁾の予測値と比較すれば、継続的なトレーニングを行っている本研究の対象者は、低下量が相対的に小さく抑制されている可能性が示唆された。

高齢者の持久的能力を長期間にわたり縦断的に検討した研究は依然として少なく、その経年変化の実態は十分に解明されていない。特に、加齢そのものによる生理的低下と、運動習慣・生活背景・疾患の有無などによる環境的要因をどの程度区別できるかについては、知見が限定的である。したがって、高齢期において数年以上の追跡を行う本研究のような縦断データを蓄積し、持久的能力の変化量とその規定因子を明らかにすることが、今後の重要な課題であると考えられる。

開眼片足立ち（静的バランス能力）は、3年間で顕著な低下傾向を示した。女性においては（表1（B-1））、 < 75 歳群が平均 102 秒から 86 秒へ（ -16 秒）、 ≥ 75 歳群が 70 秒から 51 秒へ（ -19 秒）と短縮し、 ≥ 75 歳群の変化は統計的に有意であった（ $p < 0.05$ ）。男性においては（表1（B-2））、 < 75 歳群が 97 秒から 62 秒へ（ -35 秒）、 ≥ 75 歳群が 15 秒から 3 秒へ（ -12 秒）と短縮した。ただし、 ≥ 75 歳群の男性対象者は1名であるため、当該データの一般化および解釈には慎重を期す必要がある。スポーツ庁の調査データ¹³⁾は5歳階級別の横断データであるが、 $70 \sim 74$ 歳と $75 \sim 79$ 歳の差分を見ると、女性で約 14 秒（ 79.2 秒 vs 65.2 秒）、男性で約 11 秒（ 71.3 秒 vs 59.6 秒）の開きがある。本研究で観察された3年間の縦断的な低下量（女性： $-16 \sim -19$ 秒、男性： $-12 \sim -35$ 秒）は、これら全国平均の横断的な年齢階級差よりも大きい傾向にあった。以上の結果から、週1回の有酸素運動を中心とする本研究のプログラムは、静的バランス能力の低下を抑制するには十分でなかった可能性が示唆される。

一方、Timed Up and Go（TUG）においては、年齢群の主効果が有意であり（ $p = 0.01$ ）、 ≥ 75 歳群は < 75 歳群よりもタイムが遅く、加齢による影響が確認された。TUGは、動的バランス能力の指標として世界的に用いられており、島田ら¹⁶⁾の研究によれば、TUGの成績は転倒経験、外出頻度、および運動習慣と有意な関連があるとされている。また、地域在住高齢者を対象としたHayashiら¹⁷⁾の研究では、集団運動への参加期間が短期（約1年）や中期（4年未満）の群に比べ、5年以上の長期参加群においてTUG時間が有意に短いことが報告されており、長期間の運動継続が機能的移動能力の維持・改善に寄与することが示されている。本研究の結果（表1（B-1, B-2））においても、加齢に伴うタイムの延長傾向は認められたものの、Hayashiら¹⁷⁾の報告

や厚生労働省¹⁸⁾が示す基準値と比較すると、最終測定時において依然として良好なレベル(速い値)を維持していた。このことから、静的バランスとは異なり、動的バランス能力の保持に関しては、本研究の運動プログラムが有効に機能していたことが示唆された。

C. 脚筋肉量と骨格筋指数(SMI)の推移

高齢者の身体活動量を保ち、生活習慣病や転倒のリスクを回避する上で、脚筋肉量の維持は極めて重要である。本研究における3年間の継続測定の結果、 ≥ 75 歳群および < 75 歳群のいずれにおいても、脚筋肉量および骨格筋指数(SMI)はベースライン(プレ測定値)付近の値で推移し、統計的に有意な減少は認められなかった(維持された)(図5)。この結果は、加齢に伴う生理的变化の観点から重要な意味を持つ。

一般に、加齢に伴う骨格筋量の減少は不可避とされ、Trombettiら¹⁹⁾は70歳代中頃からの3年間で年平均1%の減少を、Hetherington-Rauthら²⁰⁾は80歳代前半から終盤にかけての6年間で年平均2%の筋肉量が減少することを報告している。これらの先行知見に基づけば、本研究の3年間においても3~6%程度の筋肉量低下が予測される。しかし、本研究の平均値データ(図5の変化率)では、 ≥ 75 歳群においても概ね初期ベースライン前後の値が維持されていた。

個別の変化に着目すると、 < 75 歳群(18名)において3年間で3%以上の減少を示したのは5名(最大減少率 -7.8%)であったのに対し、増加した者は8名(最大増加率 +7.7%)であった。一方、 ≥ 75 歳群(14名)においては、3年間で6%以上の減少を示したのは1名(最大減少率 -6.2%)のみであり、5名が増加を示した(最大増加率 +7.2%)。季節変動や個人差は存在するものの、生理的な加齢に伴う筋萎縮が、本研究の運動トレーニング介入によって効果的に抑制されていることが示唆される。筋肉量の維持は、単なる身体機能の保持に留まらず、対象者の転倒不安の軽減や生活の質(QOL)の維持にも寄与すると報告されている¹⁹⁾。また、75歳の高齢者(72名)を対象に週1回、12週間の複合的運動(レジスタンス、バランス、柔軟性、有酸素運動)を実施した先行研究²¹⁾では、トレーニングは筋肉量の減少防止には有効であるが、増加させる効果までは確認されなかったとしている。本研究においても、トレーニング介入によって同様の「維持傾向」が確認された。特にフ

レイルのリスクが高い75歳以上の後期高齢者群において、脚筋肉量やSMIが維持された意義は大きい。このことは、本研究で実施した持続的トレーニング主体のプログラムであっても、先行研究の複合的運動と同様に、将来的な身体不活動や要介護状態への移行を防ぐ強力な防御因子となり得ることを示唆している。

D. 動脈ステイフネス(baPWV)の推移

da Silvaら²²⁾による最新のメタ解析では、高齢者の血管内皮機能や動脈ステイフネスに対する、有酸素運動、レジスタンストレーニング、およびそれらを組み合わせた併用トレーニングの影響が検討されている。それによれば、有酸素運動や併用トレーニングは血管内皮機能を改善し、動脈硬化を抑制する効果が確認されている一方、レジスタンストレーニング単独ではPWVへの直接的な改善効果は限定的である可能性が示唆されている。

本研究では有酸素運動主体のトレーニングを継続したが、表1および図6に示すように、 < 75 歳群において最終測定値(3年後)はプレ測定値を上回った。しかし、期間中の多くの時点においては、両群ともプレ測定値を下回る平均値で推移しており、動脈硬化の進行が一定程度抑制されていた(改善の継続)と解釈できる。

中高年層に対する有酸素運動の効果に関するメタ解析では、Bakaliら²³⁾が -0.63m/s 、Liら²⁴⁾が -0.75m/s の有意な低下(改善)を報告している。また、本研究の年齢層に近い70歳代前半までの高齢者を対象としたda Silvaら²²⁾の研究では、 -1.21m/s というより大きな低下が示されている。

本研究の対象者はこれら先行研究よりも平均年齢が高いが、短期的な変化(2022年1月プレ測定 vs 半年後の2022年7月)を見ると、 < 75 歳群で -0.99m/s 、 ≥ 75 歳群で -1.20m/s の変化量であった。特に ≥ 75 歳群においては、da Silvaら²²⁾の報告と近似した顕著な低下が確認された。

本研究は3年間の長期介入であったが、トレーニング実施期間は3ヶ月ごとの断続的なものであった(3ヶ月実施・3ヶ月休止のサイクル)。そのため、トレーニング期に得られたbaPWV改善効果が、休止期にベースラインへ戻り、再開によって再び改善するというサイクルを繰り返していた可能性が考えられる。また、運動強度を定期的に漸増させる(progressive overload)処方

を厳密には実施しなかったため、顕著な改善の蓄積には至らなかったものの、全体としてみれば加齢によるbaPWVの自然上昇が抑制され、維持されていたと考えられる。

プレ測定（2022年1月）と3年後の最終測定（2025年1月）の比較では、<75歳群で+0.75m/s、 \geq 75歳群で-0.24m/sの変化となり、初期に見られた大幅な低下効果は消失したように見える。しかし、個別の変化に着目すると、 \geq 75歳群ではプレ値に比べて最終値が低下（改善）した者が9名（64%）いた。これに対し、<75歳群では6名（33%）にとどまった。このことから、 \geq 75歳群の方がトレーニングによる動脈ステイフネス改善・維持効果が得られやすい可能性が示唆された。この要因としては、 \geq 75歳群の方が<75歳群に比べて初期のbaPWV平均値が相対的に高かった（硬化が進んでいた）ため、改善の余地が大きかったことが影響していると考えられる。

なお、動脈ステイフネスの値は、運動のみならず、食事などの生活習慣や降圧剤の服用状況にも強く影響を受ける。今後の研究においては、これらの交絡因子を含めた詳細な検討が必要である。

E. 脚関連指標の相関関係

開眼片足立ち時間は、図4に示した通り加齢の影響を強く受けることが明らかとなった。また図7からは、開眼片足立ち時間が長い者ほど試行間の変動が小さく、逆に保持時間が短い者ほど変動係数（CV）が大きくなり、個人差が増大する傾向が認められた。本研究では脚筋力を測定していないため、バランス能力と脚筋力の直接的な相関を断定することはできない。しかし、両群においてバランス能力の著しい低下が確認されたことから、その背景には加齢に伴う脚筋力の低下が存在すると推察される。具体的には、筋力低下によって片足立位時に必要な筋出力を微調整する能力（フォース・コントロール）が減退し、それが動作の不安定性やばらつきを増大につながったと考えられる。加齢に伴う筋力制御能力の喪失は、最大筋力の減少そのものよりも身体機能にとって重要であるとの指摘もある²⁵⁾。しかし、適切な筋力強化や身体活動介入によって、これらの制御機能は回復可能であることが確認されている²⁵⁾。転倒予防を想定した場合、特に重要となるのは下肢の筋力制御である。高齢女性を対象としたTapanyaら²⁶⁾の研究によれば、片足立

位バランスに及ぼす筋力の影響は、膝伸筋よりも足関節底屈筋において大きいことが報告されている。このことから、高齢者のトレーニング介入においては、足関節底屈筋の強化を重点的に取り入れることが、転倒予防およびバランス能力の安定性向上に向けた重要な要点であると示唆される。

本研究では、脚筋力の測定値に代わり、「脚筋肉量」および上肢も含めた「骨格筋指数（SMI）」を取得した。これらの指標と脚に関連する体力指標との相関関係について、プレ測定と最終測定の違い（変化量）を用いて分析した結果を表2に示す。年齢群別の分析では有意な相関関係は認められなかった。一方、両年齢群を合算した全体データ（n=32）においては、10m障害物歩行、6分間歩行、およびTUGの変化量との間に有意な相関関係が認められた（ $p < 0.05$ ）。単独の年齢群ではサンプルサイズが小さく、統計的な検出力が不足していた可能性がある。しかし、合算データにおいて有意な相関が確認されたことから、脚筋肉量およびSMIは、歩行関連指標の変化を予測する有効な指標として機能しているといえる。トレーニング介入研究ではないが、Alarcón-Riveraら²⁷⁾の先行研究においても、四肢筋量指数と立ち上がり歩行能力（TUG）および歩行速度が有意に関連することが報告されており、高齢者の身体機能評価において筋肉量を推定することの有用性が確認されている。したがって、前述した筋力（Force）の強化とともに、筋肉量（Mass）の維持・改善を図ることが、高齢者の機能的移動能力の保持において重要であると考えられる。

表2に示す脚関連指標の中で、開眼片足立ち、脚筋肉量およびSMIの両方において有意な相関関係が認められなかった。このことは、片足立ちのような静的なバランス保持能力には、筋肉の「量」だけでなく、神経系による制御、感覚器（前庭覚・視覚等）の機能、あるいは体幹の安定性など、筋肉量以外の要素が強く関与していることを示唆している。

脚関連体力指標の変化量間における相関分析を行ったところ、表3に示すように各年齢群で有意な相関関係が確認された。6分間歩行の変化は、全体および両年齢群において歩行関連の他指標（TUG、10m障害物歩行、開眼片足立ち）の変化と関連していた。特に \geq 75歳群ではTUGとの関連が強かったことから（ $r = -0.830$, $p < 0.05$ ）、高齢になるほど歩行の持久力が総合的な移動能

力を規定する要因となる可能性が示唆された。一方、開眼片足立ちの変化は6分間歩行とは関連したが、TUGとは有意な関連を示さなかった。このことから、静的バランス能力と動的バランス能力の双方において介入効果を得るためには、それぞれの動作特性（特異性）に合致したトレーニング刺激を与える必要性が示唆された。

F. 動脈ステイフネスと脚筋肉量およびバランス能力との関連

≥75歳群の脚筋肉量の変化量は、平均値においてはプレ測定と最終測定の間で有意差が認められなかった(表2)。しかし、個別の変化傾向(人数割合)に着目すると、筋肉量が低下した者は14名中9名(64%)を占めた。対照的に、同群の動脈ステイフネス(baPWV)は、改善(低下)を示した者が9名(64%)と過半数を占めた。一方、<75歳群においては、脚筋肉量の変化は低下と改善が半数ずつであったが、動脈ステイフネスについては上昇(悪化)した者の割合が高かった(67%)。先行研究では、中高年男性において大腿筋断面積(体重補正值)と動脈ステイフネスに負の相関があること²⁸⁾や、45~80歳において四肢骨格筋量指数と負の相関があること²⁹⁾が報告されている。これらの背景として、サルコペニアとアテローム性動脈硬化症が相互に悪循環を形成する可能性や、骨格筋量の低下が動脈硬化リスクの増加と関連していることが指摘されている。これら先行研究の多くは横断的調査によるものであるが、本研究では3年間の縦断的な変化を検討した結果、図8に示すように≥75歳群の変化量において有意な負の相関関係を確認した($r = -0.583, p < 0.05$)。具体的には、baPWVが3年間で400cm/s(4m/s)以上増加した者は、脚筋肉量が0.5kg以上低下していることが示された。これは、筋肉量の低下と動脈硬化リスクの増加が連動するという先行研究の知見を縦断的データから裏付けるものである。他方、<75歳群においてはこの傾向が認められなかった。その要因として、<75歳群のbaPWVはプレ測定および最終測定のいずれの時点においても、≥75歳群に比べて有意に低い値であったことが挙げられる(表1(A))。すなわち、<75歳群の平均値は心血管疾患発症リスクが高まるカットオフ値(1,800cm/s)^{9, 10)}を下回る水準であり、血管の硬化度と筋肉量の増減は、それぞれ独立した要因(栄養状態、日常身体活動量、遺伝的要因など)によって変動していた

と考えられる。これらの結果から、運動習慣のある後期高齢者においては、動脈ステイフネスの上昇を防ぐための持久的運動と、下肢のサルコペニア予防を目的とした筋力トレーニングを並行して推奨していくことが重要であると示唆された。

動脈硬化は血管構造の変化を引き起こし、高齢者における平衡障害や転倒の原因となり得ることが近年の研究で報告されている^{30, 31)}。また、複数の心血管疾患と転倒リスクの関連も指摘されており³²⁾、転倒予防における血管健康の重要性が高まっている。本研究において、トレーニング期(計6回)の平均値を用いて動脈ステイフネスと開眼片足立ち時間の相関を分析したところ(図9)、<75歳群において有意な負の相関関係が確認された($r = -0.527, p < 0.05$)。すなわち、先行研究と同様に、動脈ステイフネスが高いことが静的バランス能力の低下に影響している可能性が示唆された。実際、期間中のbaPWV平均値がカットオフ値(1,800cm/s)^{9, 10)}を超えている対象者の中に、開眼片足立ち時間が極端に短い者3名が含まれていた。一方、≥75歳群においては、動脈ステイフネスがカットオフ値を下回る良好な値であっても、片足立ちが60秒未満の者が5名存在した。この年齢層においては、動脈硬化の影響が顕在化する以前に、筋力低下、神経系の老化、あるいは関節疾患といった他のバランス阻害要因が先行して影響を及ぼしていると考えられる。なお、≥75歳群の12名(85%)が片足立ち80秒未満であった中で、100秒以上を維持した者が2名いたことは注目に値する。1名はプレ測定時点で80歳代でありながら動脈硬化の影響を受けずに最大の120秒を維持しており、もう1名は70歳代後半で動脈ステイフネスが同年代に比べ極めて良好な状態にあった。今後、このような特徴的な高齢者データの背景にある要因(生活習慣、遺伝的背景等)を、質的研究手法等を用いて解明することが課題であると考えられる。

V. まとめ

本研究は、地域在住高齢者を対象に週1回の運動教室へ3年間断続的に参加した際の各指標の縦断的变化を、75歳未満(<75歳群)18名と75歳以上(≥75歳群)14名に分類して検証した。

【結果概要】

①各項目の結果

<体力>両群において握力は経年的に減少した($P <$

0.05). <75 歳群では長座体前屈の改善が見られた. ≥ 75 歳群では, 握力以外にも 10m 障害物歩行 ($P < 0.05$) および開眼片足立ち ($P < 0.05$) の記録が有意に低下し, 加齢による身体機能の低下が顕著であった.

<脚筋肉量と骨格筋指数 (SMI) > 年齢群間で有意な差はなく, 両群において脚筋肉量と SMI が 3 年間を通じて維持されていた (脚筋肉量: <75 歳群プレ 12.1 \rightarrow 最終 12.0kg, ≥ 75 歳群プレ 10.8 \rightarrow 最終 10.6kg, SMI: <75 歳群プレ 6.25 \rightarrow 最終 6.26kg/m², ≥ 75 歳群プレ 6.25 \rightarrow 最終 6.18kg/m²).

<動脈ステイフネス (baPWV) > <75 歳群で有意な上昇 (プレ 1655.1 \rightarrow 最終 1729.7cm/秒, $p < 0.05$) が確認されたが, 心血管疾患リスクのカットオフ値 (1800cm/秒) は下回る水準であった. 一方, ≥ 75 歳群では有意な変化はみられなかったが (プレ 2053.3 \rightarrow 最終 2000.6cm/秒), プレ測定値および最終測定値の両時点で <75 歳群に比べて有意に高い値を示した ($p < 0.05$).

②クロス集計・相関分析の結果

脚筋肉量と骨格筋指数について, 脚関連体力指標との相関関係をみた場合, 各群では有意な相関関係はみられなかったが, 全体では 10m 障害物歩行や 6 分間歩行, TUG (動的バランス) といった移動機能の変化と有意に関連していることが示された ($p < 0.05$). 脚関連体力指標間での相関関係は, 6 分間歩行と TUG が最も強く ($r = -0.8301$, $p < 0.05$). 開眼片足立ちは, 60 秒未満者の変動 (CV) が大きく, 10 m 障害物歩行や TUG との間に有意な相関関係が認められなかった.

本研究の重要な知見として, ≥ 75 歳群においてのみ, 動脈硬化度と脚筋肉量の変化に密接な関連が確認された ($r = -0.583$, $p < 0.05$). 具体的には, 3 年間で baPWV が 400cm/s 以上増加した者は, 脚筋肉量が 0.5kg 以上低下していることが示された. これは, 後期高齢者において「筋肉量の減少」と「動脈硬化の進行」が負の連鎖を起している可能性を示唆している. 一方で <75 歳群ではこの相関は認められず, 開眼片足立ちによる静的なバランス能力との間に, 3 年間の平均値において, 有意な相関関係を認めた ($r = -0.527$, $p < 0.05$). 本研究では血管の構造変化を確認していないものの, この結果から前期高齢者の段階でも血管疾患発症リスクが高まっている者は, バランス能力が低下し, 転倒のリスクが高まることが示唆された.

【結論】

週 1 回, 3 ヶ月間, 有酸素運動を主体とした高齢者の集団エクササイズトレーニングを断続的に 3 年間継続した結果, 全体的には脚筋肉量を維持することができた一方で, 体力における握力, バランス能力, 歩行能力などの体力指標の機能低下は避けられず, これらの能力を強化する取り組みの必要性が示唆された. また, 前期高齢者においてはバランス能力と動脈ステイフネスの負の相関関係が, 後期高齢者においては脚筋肉量と動脈ステイフネスの変化量における負の相関関係が認められた. このことから, 高齢者の体力トレーニングにおいては, 動脈硬化の抑制を視野に入れた筋力およびバランス機能の強化を図ることが重要であると考えられる.

謝辞

本研究にご協力をいただきました, 茨木市福祉部地域福祉課の皆様, 茨木市市民文化部スポーツ推進課の皆様, 茨木市老人クラブ連合会の皆様, ならびにシンコースポーツ (株) の関係者の皆様に深く感謝申し上げます. また, 本研究にご賛同くださり, 長期に渡り参加をいただきました地域高齢者の皆様に敬意と感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 総務省統計局, 「人口推計 - 2025 年 (令和 7 年) 12 月報 - 」, 2025 年 12 月, <https://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/202512.pdf>, (2026 年 2 月 2 日閲覧)
- 2) 厚生労働省, 「2040 年を見据えた社会保障の将来見通し (議論の素材)」等について, 2018 年 5 月. <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000207382.html> (2026 年 2 月 12 日閲覧)
- 3) 廣進梅, 樺山舞, 黄雅, 赤木優也, 呉代華容, 清重映里, 畑中裕美, 橋本澄代, 菊池健, 神出計, 地域通いの場に参加する高齢者におけるフレイルの実態といきいき百歳体操効果の縦断的検討 ~大阪府能勢町いきいき百歳体操効果検証~, 日本老年医学会雑誌, 2021; 58 (3): 459-469. <https://doi.org/10.3143/geriatrics.58.459>
- 4) Yamada M, Arai H, Sonoda T, Aoyama T. Community-based exercise program is cost-effective by preventing care and disability in Japanese frail older adults. J Am Med Dir

- Assoc. 2012 ; 13 (6) : 507-511. doi : 10.1016/j.jamda.2012.04.001
- 5) Foley A, Hillier S, Barnard R. Effectiveness of once-weekly gym-based exercise programmes for older adults post discharge from day rehabilitation: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 2011 ; 45 (12) : 978-986. doi : 10.1136/bjism.2009.063966
 - 6) Lim SER, Meredith SJ, Agnew S, Clift E, Ibrahim K, Roberts HC. Volunteer-led online group exercise for community-dwelling older people: a feasibility and acceptability study. *BMC Geriatr.* 2023 ; 23 (1) : 461. doi : 10.1186/s12877-023-04184-7
 - 7) Baxter BA, Baross AW, Ryan DJ, Tkadlec S, Kay AD. Effects of once- versus twice-weekly eccentric resistance training on muscular function and structure in older adults: a randomised controlled trial. *Sci Rep.* 2024 ; 14 (1) : 9638. doi : 10.1038/s41598-024-59788-9
 - 8) 文部科学省, 「新体力テスト実施要項 (65歳~79歳対象)」, 1999 (HP公開2010), https://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/afieldfile/2010/07/30/1295079_04.pdf, (2026年2月2日閲覧)
 - 9) Kim HL, Lee KS, Joh HS, Lim WH, Seo JB, Kim SH, Zo JH, Kim MA. Prognostic Value of Brachial-Ankle Pulse Wave Velocity According to Subjects' Clinical Characteristics: Data From Analysis of 10,597 Subjects. *J Korean Med Sci.* 2023 ; 38 (50) : e414. doi : 10.3346/jkms.2023.38.e414
 - 10) Tanaka A, Tomiyama H, Maruhashi T, Matsuzawa Y, Miyoshi T, Kabutoya T, Kario K, Sugiyama S, Munakata M, Ito H, Ueda S, Vlachopoulos C, Higashi Y, Inoue T, Node K, Physiological Diagnosis Criteria for Vascular Failure Committee. *Physiological Diagnostic Criteria for Vascular Failure. Hypertension.* 2018 ; 72 (5) : 1060-1071. doi : 10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11554
 - 11) Simonsick EM, Glynn NW, Jerome GJ, Shardell M, Schrack JA, Ferrucci L. Fatigued, but not frail: perceived fatigability as a marker of impending decline in mobility-intact older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2016 ; 64 (6) : 1287-1292. doi : 10.1111/jgs.14138
 - 12) Frederiksen H, Hjelmberg J, Mortensen J, McGue M, Vaupel JW, Christensen K. Age trajectories of grip strength: cross-sectional and longitudinal data among 8,342 Danes aged 46 to 102. *Ann Epidemiol.* 2006 ; 16 (7) : 554-562. doi : 10.1016/j.annepidem.2005.10.006
 - 13) スポーツ庁, 「令和6年度体力・運動能力調査結果の概要及び報告書について」, 2025, https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k_detail/1421920_00005.htm, (2026年2月1日閲覧)
 - 14) Alman MP, Rini I. Trunk flexibility and postural balance in older adults: a cross-sectional study. *Majalah Ilmiah Fisioterapi Indonesia (MIFI) - Indonesian Scientific Journal of Physiotherapy.* 2025 ; 13 (3) : 517-522. doi.org/10.24843/mifi.000000366
 - 15) Bautmans I, Lambert M, Mets T. The six-minute walk test in community dwelling elderly: influence of health status. *BMC Geriatr.* 2004 ; 4 : 6. doi : 10.1186/1471-2318-4-6
 - 16) 島田裕之, 古名丈人, 大淵修一, 杉浦美穂, 吉田英世, 金憲経, 吉田祐子, 西澤哲, 鈴木隆雄. 高齢者を対象とした地域保健活動における Timed Up & Go Test の有用性. *理学療法学.* 2006 ; 33 (3) : 105-111. doi : 10.15063/rigaku.KJ00004335163
 - 17) Hayashi C, Ogata S, Okano T, Toyoda H, Mashino S. Long-term participation in community group exercise improves lower extremity muscle strength and delays age-related declines in walking speed and physical function in older adults. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2021 ; 18 (1) : 6. doi : 10.1186/s11556-021-00260-2
 - 18) 厚生労働省, 介護予防マニュアル 第4版, 第2章 運動器の機能向上マニュアル, 別添資料2-4 年齢別体力基準値表, 2022, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_25277.html (2026年2月12日閲覧)
 - 19) Trombetti A, Reid KF, Hars M, Herrmann FR, Pasha E, Phillips EM, Fielding RA. Age-associated declines in muscle mass, strength, power, and

- physical performance: impact on fear of falling and quality of life. *Osteoporos Int.*, 2016 ; 27 (2) : 463-471, doi : 10.1007/s00198-015-3236-5
- 20) Hetherington-Rauth M, McCulloch CE, Evans WJ, Hellerstein M, Shankaran M, Cauley JA, Ensrud K, Langsetmo L, Orwoll ES, Cawthon PM. Change in D3Cr muscle mass in oldest old men and its association with changes in grip strength and walking speed. *Bonilla DA, ed. PLoS ONE.*, 202520 (4) : e0320752, doi : 10.1371/journal.pone.0320752
- 21) Makizako H, Nakai Y, Tomioka K, Taniguchi Y, Sato N, Wada A, Kiyama R, Tsutsumimoto K, Ohishi M, Kiuchi Y, Kubozono T, Takenaka T. Effects of a Multicomponent Exercise Program in Physical Function and Muscle Mass in Sarcopenic/Pre-Sarcopenic Adults. *JCM.* 2020 ; 9 (5) : 1386. doi : 10.3390/jcm9051386
- 22) da Silva RSN, da Silva DS, de Oliveira PC, Waclawovsky G, Schaun MI, Effects of aerobic, resistance and combined training on endothelial function and arterial stiffness in older adults: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 2024 ; 19 (12) : e0308600. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308600>
- 23) Bakali M, Ward TC, Daynes E, Jones AV, Hawthorne GM, Latimer L, Divall P, Graham-Brown M, McCann GP, Yates T, Steiner MC, Evans RA. Effect of aerobic exercise training on pulse wave velocity in adults with and without long-term conditions: a systematic review and meta-analysis. *Open Heart.* 2023 ; 10 (2) : e002384. doi : 10.1136/openhrt-2023-002384
- 24) Li G, Lv Y, Su Q, You Q, Yu L. The effect of aerobic exercise on pulse wave velocity in middle-aged and elderly people: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Cardiovasc Med.* 2022 ; 9 : 960096. doi : 10.3389/fcvm.2022.960096
- 25) Pethick J, Taylor MJD, Harridge SDR. Aging and skeletal muscle force control: Current perspectives and future directions. *Scandinavian Med Sci Sports.* 2022 ; 32 (10) : 1430-1443. doi : 10.1111/sms.14207
- 26) Tapanya W, Maharan S, Amput P, Sangkarit N, Suwannakul B. The Influence of Knee Extensor and Ankle Plantar Flexor Strength on Single-Leg Standing Balance in Older Women. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2023 ; 8 (2) : 67. doi : 10.3390/jfmk8020067
- 27) Alarcón-Rivera M, Cornejo-Mella C, Cáceres-Aravena C, Concha-Cisternas Y, Fernández-Valero P, Guzmán-Muñoz E. Relationship between appendicular muscular mass index and physical function in older people. *AIMSPH.* 2024 ; 11 (1) : 130-140. doi : 10.3934/publichealth.2024006
- 28) Ochi M, Kohara K, Tabara Y, Kido T, Uetani E, Ochi N, Igase M, Miki T. Arterial stiffness is associated with low thigh muscle mass in middle-aged to elderly men. *Atherosclerosis.* 2010 ; 212 (1) : 327-332. doi : 10.1016/j.atherosclerosis.2010.05.026
- 29) Yang M, Zhang X, Ding Z, Wang F, Wang Y, Jiao C, Chen JH. Low skeletal muscle mass is associated with arterial stiffness in community-dwelling Chinese aged 45 years and older. *BMC Public Health.* 2020 ; 20 (1) : 226. doi : 10.1186/s12889-020-8323-7
- 30) Peultier-Celli L, Lion A, Buatois S, Watfa G, Gueguen R, Benetos A, Perrin PP. Relation of arterial stiffness with postural control in older people. *Eur Geriatr Med.* 2021 ; 12 (4) : 871-879. doi : 10.1007/s41999-021-00468-6
- 31) Gebre AK, Sim M, Via JD, Rodriguez AJ, Hodgson JM, Bondonno CP, Thompson PL, Prince RL, Lewis JR. Measures of carotid atherosclerosis and fall-related hospitalization risk: The Perth Longitudinal Study of Ageing Women. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases.* 2023 ; 33 (1) : 95-104. doi : 10.1016/j.numecd.2022.10.003
- 32) Bourke R, Doody P, Pérez S, Moloney D, Lipsitz LA, Kenny RA. Cardiovascular Disorders and Falls Among Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Fielding RA, ed. The Journals of Gerontology: Series A.* 2024 ; 79 (2) : glad221.

doi : 10.1093/gerona/glad221

【追手門学院大学スポーツ研究センター紀要編集に関する内規】

(目的)

第1条 追手門学院大学スポーツ研究センター紀要（以下「紀要」という）は、追手門学院大学スポーツ研究センターにおける活動成果の発表を主な目的として、これを刊行する。

(編集等の機関)

第2条 紀要の企画、原稿の募集および編集は、スポーツ研究センター紀要編集委員会（以下「委員会」という）が行い、発行はスポーツ研究センターが行う。

2. 編集委員（若干名）は、センター会議で選出し、編集委員長はセンター長が兼務する。

(執筆者の資格)

第3条 執筆の資格を有する者は次の各号に掲げる者とし、執筆は公募とする。

- (1) スポーツ研究センター所員
- (2) スポーツ研究センター研究員および客員研究員
- (3) センター会議にて推薦または承認を得た者

(原稿の要件)

第4条 紀要に執筆する原稿の要件は、次の各号のとおりとする。

- (1) 他誌に未掲載の原稿であること。
- (2) 完成原稿であること。
- (3) 原稿の種類は次のいずれかに該当するものであること。
 - ①論文
 - ②研究ノート
 - ③資料
 - ④書評
 - ⑤その他、紀要編集上必要と認められるもので、センター会議にて承認を得た原稿
- (4) 投稿原稿は、題目提出の時点で、同一言語、同一内容のものが他誌で公表されてはならない。その後、他誌で掲載されることが決定した場合には、速やかに原稿を取り下げること。なお、本紀要刊行ののちに、書籍などに再掲することは妨げない。ただし再掲の場合は、必ず初出を明示すること。

(原稿の採択)

第5条 委員会は、執筆原稿の掲載についての判断を行う。

2. 委員会で指名された担当者が原稿を査読し、第4条の原稿要件に関する確認、ならびに修正等の措置が適切に行われた原稿を採択する。

(紀要の発行)

第6条 紀要は、各年度1回発行することとし、各年度の原稿募集・執筆期限・発行日等は委員会が決定し、公表する。

2. 原則として紙媒体の冊子による発行を行わず、追手門学院大学機関リポジトリ、大学研究所ホームページならびに CiNii（国立情報学研究所論文情報ナビゲーター）への掲載（公開）のみとする。

(原稿の形式)

第7条 紀要に投稿する原稿の形式は、委員会が定める「スポーツ研究センター紀要執筆要領」によるものとする。

(校正)

第8条 校正は著者校正とし、校正期限を遵守し、校正時に大幅な訂正を行わないこととする。

2. 執筆者が前項の規定に反した場合、第5条の規程を準用する。

(抜刷)

第9条 抜刷の費用は申込者の負担とし、具体的な申込部数と価格は、別途定める。

(著作権)

第10条 紀要のすべての掲載物の著作権は、追手門学院大学スポーツ研究センターに帰属するものとする。

(改廃)

第11条 この内規の改廃は、委員会の議を経て、センター会議で行う。

附則

この内規は、2015年10月1日から施行する。

この内規は、2016年10月1日から施行する。

この内規は、2017年10月1日から施行する。

2025年度 追手門学院大学スポーツ研究センター所員・研究員

センター長	辰 本 頼 弘 (社会学部 教授)
所 員	巽 樹 理 (共通教育機構 准教授) ※センター長代理
	植 松 梓 (社会学部 准教授)
	千 葉 英 史 (共通教育機構 准教授)
	林 勇 樹 (社会学部 講師)
	馬 込 卓 弥 (社会学部 教授)
研 究 員	松 井 健 (社会学部 教授)
	佐 藤 哲 史 (株式会社 Sports Multiply 代表取締役)
	高 島 孝 之 (医療法人高島整形外科 院長)
	山 口 徹 (八王子スポーツ整形外科 医長)
	吉 田 良 治 (追手門学院大学 客員教授)

追手門学院大学スポーツ研究センター紀要 第11号

2026年3月発行

発 行 追手門学院大学スポーツ研究センター

〒567-8620 大阪府茨木市太田東芝町1番1号

☎072-665-9217 (研究所・センター窓口)

印 刷 協和印刷株式会社

〒615-0052 京都市右京区西院清水町13

☎075-312-4010 FAX 075-312-4011
