

大学トップレベルの自転車競技チームにおける 4 km チームパシュートの指導実践に関する事例研究： ペース配分・先頭交代・ギア比の選択を巡る3年間の取り組みと 隊列崩壊から得られた教訓

山口 大 貴* (鹿屋体育大学)

伊 澤 将 也 (CycloDynamicsLAB, CIELBLEU KANOYA)

A Case Study on Coaching Practices for the 4-km Team Pursuit within a Single Top-Level Collegiate Cycling Team:

Three Years of Initiatives Regarding Pacing Strategy, Rider Sequencing, and Gear Ratio Selection, and Lessons from a Paceline Collapse

Hiroki Yamaguchi¹⁾ and Masaya Izawa²⁾

Abstract

This study examined how rider sequencing, pacing strategy, and athletes' experiential knowledge influenced performance in the 4-km team pursuit (4kmTP) within a single collegiate men's cycling team. Using a three-year reflective case series from the 2023–2025 All-Japan Inter-College Championships, we integrated official race data with first-person accounts from athletes and the head coach. Years with lower lap-time variability achieved superior outcomes, and the 2024 final showed the greatest pacing stability. In contrast, the 2025 final collapsed into an “Overtaken” following substantial destabilization. Reflective analyses by the coach and athletes indicated several interacting causes, including overestimation of aggregated rider capacity, long pulls that reduced pacing adjustability, high gear-ratio selection, and communication breakdowns under high-noise conditions. The synthesis identified key domains of coaching knowledge: stabilizing pace, applying the three-rider finish principle, optimizing role-based sequencing, developing cadence-maintenance capacity, training target-speed reproduction, and implementing structured risk management using non-verbal cues.

Key words: track cycling, lead-change strategy, knowledge transfer in team systems, pacing regulation, cadence control

1. 研究の背景と目的

自転車トラック競技の4 km チームパシュート（以後、「4 km TP」と略す）は、4名の競技者が横一列に並び静止した状態からスタートし、徐々に縦一列に整列しながら加速していく種目である。その後、交代で先頭を務めながら4 kmを走行し、3人目の競技者がゴールラインを通過した時点で記録が計測される。先頭走者は大きな

空気抵抗を受けるため、その負担を走者全員で分散するために平均速度を維持する目的で戦略的な先頭交代が行われる。どの競技者がどの区間で先頭での走行を担当するか、どのようなペース配分にするか、どのようなギア比を選択するかという戦略的要素が、チーム全体の総合力と同様に記録を大きく左右する。

大会では、まず予選をタイムトライアル形式で実施し、その記録に基づいて上位4チームが順位決定戦（1

*：責任著者 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地803研究室 E-mail: h-yamaguchi@nifs-k.ac.jp

1) *National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

2) *CycloDynamicsLAB, CIELBLEU KANOYA*

－2位決定戦および3－4位決定戦)に進出する。順位決定戦では2チームが競技場の反対側から同時にスタートし、4kmをより速く走破するか、一方のチームが相手チームを追い抜いた場合に勝者が決定するというルールとなっていた。筆者が参加した全日本大学対抗選手権(以後、「全日本インカレ」と略す)では、予選は単独走で行われる。過去の全日本インカレの記録変遷を整理した研究(山口・石井, 2025)をみると、1－2位決定戦の勝敗が1秒以内で決まるなど、本種目は僅かなタイムの差が順位に直結する競技特性を有することが示されている。

筆者は、指導歴10年となる大学自転車競技部の指導者として4kmTPの記録短縮と大会での好成績を目指している。本研究で対象とした全日本大学対抗選手権(全日本インカレ)において、4kmTPの競技成績は、全日本インカレにおける最重要の目標として位置づけていた。筆者が指導する大学自転車競技部は、直近の全日本大学対抗選手権(2023年, 2024年)において4kmTPで2年連続決勝(1－2位決定戦)に進出し、準優勝の成績を取ってきた。特に2024年には、同一チームによる複数記録を含めた学生パフォーマンス歴代で4位、チーム単位で最上位記録のみを抽出した単独チーム歴代3位の記録(4分08秒142)を樹立するなど、記録は着実に右肩上がりの傾向を示していた(日本学生自転車競技連盟, online)。

2025年大会では、日本学生記録(4分4秒673; 2023)を視野に入れて自チームの更なる記録更新と優勝を目標に大会へ臨んだ。しかし、予選を通過して進んだ決勝では相手チームに追いつかれて捕捉終了(Overtaken「以後、OVT」と略す)となり優勝できなかった。さらに捕捉に至る以前の段階でチームが隊列を維持できずに崩壊するという、戦術遂行上の重大な問題も生じていた。

このような失敗をきっかけに事例を振り返ると、2023－2024年の連続的な成功体験は指導者(筆者)自身の過信と慢心を生み出す原因であると共に、指導体制の甘さがあったのではないかと考えた。また、競技者達からは、

毎年過去の反省や経験を思い出しながら4kmTPの練習に取り掛かるため、安定したペースの維持やスムーズな先頭交代ができる状態に至るまで苦労があることや、得られた知見について対象者間の組織的な継承が十分でなかったとの振り返りがあった。このような状況を踏まえると、指導内容を再検討し、改善すべき点を明確化する必要があると考えた。

そこで本研究は、2025年の失敗を契機として、指導者自身が過去3年間の取り組み(成功事例と失敗事例)を振り返り、その経験から導き出される継承すべき戦略的・指導上の実践知を提示することを目的とする。

II. 方法

1. 対象者の特性

本研究の対象者は、2023－2025年度に開催された全日本大学対抗選手権における4kmTPに出場した競技者とした。チーム構成は年度ごとに異なるが毎年4名で編成され、3年間で延べ12名が出場した。対象者の個別プロフィールについては、3年間の出場経験のうち最も新しい学年時点の情報を整理し表1に示した。

また本研究は、ヘルシンキ宣言の倫理的規範に準じて実施し、筆者所属機関の倫理審査委員会に「競技スポーツを対象としたデータフィードバックを用いる選手強化支援」の研究の一部として審査申請し、承認(25-1-15号)を得た上で実施された。なお、各種データの収集・分析にあたっては、対象者自身が今後の競技活動におけるトレーニングの納得感や充実度を高めるための支援・コーチングを目的とすることを明示した。その際、研究目的、手順、およびリスクについて十分に説明を行い、対象者の理解と同意を得た上で実施した。

2. 指導者の特性

本研究の指導者(筆者)は、指導歴10年の男子元自転車競技者である。まず競技者としての経歴を示す。自転車競技転向以前は陸上競技走幅跳を中学1年次から大学2年次までの8年間経験しており、全国高校総体や国民

表1. 対象者プロフィール

対象者	A競技者	B競技者	C競技者	D競技者	E競技者	F競技者
出場年度	2023	2023, 2024	2023, 2024, 2025	2023, 2024, 2025	2024, 2025	2025
学年	4年次	4年次	3年次	3年次	2年次	1年次
身長(cm)	171.4	169.8	170.0	173.5	167.5	161.0
体重(kg)	71.9	66.5	65.4	79.0	62.5	61.5
体脂肪率(%)	12.2	9.0	11.2	17.6	18.0	17.1
除脂肪体重(kg)	63.2	60.5	58.1	65.1	51.2	51.0
体脂肪量(kg)	8.7	6.0	7.3	13.9	11.3	10.5

※「出場年度」には対象者が全日本インカレの4kmTPに出場した全ての年度を記載し、年齢や身体的特徴などのプロフィール数値は、最新の出場年度時点の情報を採用している。

体育大会などの全国大会への出場経験はあったが、入賞経験はなかった。大学3年次から自転車競技を開始し、転向後1年半となる大学4年次に全日本インカレのトラック種目（1 km タイムトライアル）において4位入賞を果たした。その後、競技転向4年目となる大学院修士課程2年次には、全日本選手権のチームスプリントで優勝した実績を有する。4 kmTPについては、競技者時代に国民体育大会において7位入賞の経験を有していたものの、短距離種目を専門としていた。

次に指導者としての経歴を示す。本研究の指導者は、大学院修士課程修了後の社会人（24歳）から指導を開始し、民間企業のコーチ（2年間）、大学院博士課程の短距離コーチ（3年間）、大学教員の監督（5年間）として10年間の指導経験を有する。指導を開始した民間企業勤務時（2年間）では、一般的なロードバイクやトライアスロン愛好家（長距離）からプロの競輪選手（短距離）まで幅広い競技レベルを対象に指導を行った。博士課程在籍時（3年間）には短距離種目の専属コーチとして指導を行った。博士課程修了後には大学教員となり同部の監督に就任した。監督就任から2年間の指導は、得意としている短距離種目の指導が主であった。一方、監督就任3年目からは中距離種目の指導も開始していたが、中距離種目の指導経験は浅く、学生トップレベルのチームを率いるための実践的な指導知見が十分に蓄積されていない状態であった。

なお、このような指導活動と並行して、自らの競技経験を基に運動技能習得に関する事例研究（山口ほか、2015；2025）等の研究活動にも取り組んできた。

3. 事例報告期間

事例報告期間は、指導者と対象者が全日本インカレの4 kmTPに出場した2023–2025年までの3年間とした。

4. 取り組み過程の記述

取り組み過程は、事例報告期間内の全日本インカレにおける4 kmTPの予選と順位決定戦（1–2位決定戦）の計6レースを対象に、指導者および対象者の実践過程を報告した。4 kmTPのパフォーマンスの詳細は、大会結果の記録を参考にした。合わせて、個々の競技者がどの程度の能力を有しているのか把握するために形態測定、実走のタイム、コントロールテストの測定値を収集した。

対象者の内省報告を得るため、2025年の全日本インカレ後に指導者による振り返りのインタビューを実施し、各年における実践知を聴取・整理した。主なインタビュー対象者は2025年の競技者であった。過去の事実関

係については、2023–2024年の競技者にも確認を行った。

指導者自身の取り組みは、2025年の全日本インカレ後、2023–2025年までの目標や戦術の変化について当時の指導メモを手がかりに記述した。

5. 本研究で用いたデータの測定方法および分析方法

(1) 4 kmTP のパフォーマンス

事例報告の3年間の大会会場は、周長250mのTIP STAR DOME CHIBAで開催された。4 kmTPのパフォーマンスは、4 kmTPのタイム、1周毎のラップタイム、スプリットタイム、1 km毎のスプリットタイム、ギア比、ペダル回転数を分析した。

4 kmTPのタイムは、全日本大学対抗選手権の公式結果である電子計時を採用した。しかし、本大会の公式記録（電子計時）は最終記録のみであり、1周毎のラップタイムは公開されていない。そのため、公式データだけではラップタイムなどのデータを提示することができなかったことから、本研究では全レースで共通して存在する指導者による手動計測データを採用した。4 kmTPでは競技場内の安全帯にコーチ等が1名（本研究では指導者）のみ入ることが認められており、ラップタイム等の情報を伝達することが許されている（日本自転車競技連盟、online）。本研究のラップタイムは、大会時に指導者から競技者へ伝達された手動計時のものを採用した。計測は隊列先頭の自転車の前輪先端が競技場のパシュートラインを通過した瞬間を基準として行った。使用機器はタブレット端末（iPad Air, Apple社製）を使用した。ソフトウェアは、自転車競技用ストップウォッチアプリ（Track Cycling Stopwatch, Carleton Hall製）とし、計測手順は陸上競技における手動計時の方法に準拠した（日本陸上競技連盟、online）。記録値は有効数字を1/10とした。また、走行ペースの安定性を示す指標として、2周目以降の平均値と標準偏差を算出した。なお、手動計時による計測誤差の可能性は完全には排除できないが、これらの数値はレース中に指導者が実際に把握し、競技者へのフィードバックや戦略判断の根拠として用いた直接的な情報であることから、指導実践の分析における一次資料として採用した。

スプリットタイムは、1周毎のラップタイムを累積して算出した値を用いた。なお、1 kmラップタイムは、4周回分のラップタイムの値を用いた。また、時速（km/h）は1周毎のラップタイムを参考に算出した。

ペダル回転数（rpm）は、先行研究（太田ほか、2011）を参考に以下の式により手動計時によるラップタイムと対象者が用いたギア比から走行中の平均値を算出して推定した。

$$\text{rpm} = [V \times (g \times 2.1)^{-1}] \times 60$$

g: ギア比, V: 走行速度 (m/s), 2.1: タイヤ周長 (m)

自転車のギア比は、フロントのギアの歯数 ÷ リアのギアの歯数で求められ、クランク 1 回転あたりにホイールが何回転するかを示す指標である。例えば、ギア比が 4.00 倍の場合、クランク 1 回転でホイールは 4 回転する。

(2) 先頭交代データ

先頭交代の順序および各競技者が先頭を走行した走行距離は、大会公式映像（自転車競技場の 1 コーナー付近から撮影）および固定カメラ映像（競技場中央のパシュートライン付近からカメラを動かさずに固定して撮影）を用いて算出した。交代の瞬間は、先頭走者の後輪後端が競技場のスプリンターライン（スプリンターレーンから 85cm 上方に引かれた赤線）を越えた時点と定義した。交代距離の判定には、競技場内に 250m の 1/4 周 (0.25 周 = 62.5m) ごとに標記されているラインを基準として採用した。分析は、本研究の対象者の上級生 (D 競技者) と筆者の 2 名で独立して実施した。判定に食い違いが生じた場合には、両者で再度同一の映像を確認し協議する手順としていた。なお、本研究の分析において判定の相違は認められなかった。

(3) 個人能力データ

競技者の基礎的な能力指標として対象者が当該年度に行えた以下の形態測定、実走のタイム、コントロールテストの測定値を継続的に収集した。これらの測定は、特定の競技大会（全日本インカレ）の直前や直後といった統一的なタイミングに限定して実施されたものではないが、主に大会の 4 - 5 ヶ月前（3 - 4 月）または大会終了から約 2 ヶ月後（10 月）に実施された測定値を収集した。収集できなかった項目は欠測とした。これらのデータは、統計的な検証のためではなく、指導者がチーム編成を検討する際の個人能力を把握するための基礎資料として示した。

- 1) 実走のタイム (200m フライングタイムトライアル (以後、「200mFTT」と略す)、1 km タイムトライアル (以後、「1 kmTT」と略す)、4 km インディビデュアルパシュート (以後、「4 kmIP」と略す))
- 2) コントロールテスト (形態測定、無酸素パワーテスト、ウインゲートテスト (以後、「Wnt」と略す)、乳酸カーブテスト (以後、「LCT」と略す))

形態測定は、身長を全自動身長体重計 (AD-6225A, Combi 社製)、体重、体脂肪率、除脂肪体重は身体組成計 (Body composition analyzer BC-118E, Tanita 社製) を用いて計測した。

実走のタイムは、公式大会の結果を引用した。電子計時による記録は 1/1000 秒まで、公式大会での手動計時 (公認記録) は結果に従い 1/100 秒まで示した。

コントロールテストは、自転車エルゴメーター (パワーマックス VIII PRO, コナミ社製) を用いて、4, 7, 11kp のペダル負荷を用いた無酸素パワーテストにおける最大無酸素パワーと 40 秒間の Wnt (体重の 9% の負荷) におけるピークパワーと平均パワーを示した。Wnt の標準的なプロトコル (Ayalon et al., 1974) は体重の 7.5% で推奨されているが、競技者の特性や研究目的に応じてペダル負荷の変更が認められていることから (Castañeda-Babarro et al., 2021)、本研究ではペダル負荷を 9%、運動時間を 40 秒とした。

LCT は、前述と同様の自転車エルゴメーターを用いて漸増負荷テストを実施した。対象者には、テスト中はペダル回転数 90 rpm を維持するよう指示した。競技者が正確な回転数を維持できるように、自転車エルゴメーターのモニターに表示されるリアルタイムの回転数を目視で確認させると同時に、電子メトロノームを用いて設定回転数 (90 rpm) のリズムを聴覚的に提示した。負荷は 1.2 kp から開始し、3 分ごとに 0.5 kp ずつ漸増させた。血中乳酸濃度は、簡易型乳酸分析器 (Lactate Pro 2, アークレイ社製) を用いて測定した。得られた血中乳酸濃度の推移から、乳酸濃度が 2 mmol/L に達した時点の負荷を乳酸性作業閾値 (lactate threshold: LT)、4 mmol/L に達した時点の負荷を乳酸蓄積開始点 (onset of blood lactate accumulation: OBLA) として定義し、それぞれ算出した。

Ⅲ. 結果

ここでは研究の目的である指導者自身の内省と継承すべき実践知の提示に資するために、3 年間の取り組みについて 4 kmTP のパフォーマンス、指導者の目標と戦術の変化に加えて、競技者および指導者の内省を報告する。2023 - 2024 年の成功事例と 2025 年の失敗事例を対比して記述する。

1. 3 年間の 4 kmTP パフォーマンスの概況

表 2 には、4 kmTP の各ラウンド (予選・決勝) 別のパフォーマンスを示している。指導者が指導したチームは、2023 年と 2024 年で 2 年連続決勝 (1 - 2 位決定戦) に進出し、準優勝の成績を収めた。

2023 年は、予選を 2 位で通過し、決勝 (1 - 2 位決定戦) において準優勝の成績を収めた。電子計時によるトータルタイムは予選 4 分 10 秒 336、決勝 4 分 09 秒 920 であり、当時の自チーム記録を 9 年ぶりに更新した。決勝の 2 周目以降の平均ラップタイムは 15 秒 3、走行ペース

の安定性を示すラップタイムの標準偏差は0.4秒（予選は0.2秒）であった。

2024年決勝では、4分8秒142を記録し、学生パフォーマンス歴代4位、単独チーム歴代3位の好記録を樹立しており、この期間はパフォーマンスの向上が明確に認められた。ラップタイム（2周目以降）に着目すると、2024年決勝は平均ラップタイムが15秒1、標準偏差0.2秒と本研究で対象とした3年間の中で最も安定を示した。

一方、2025年は予選で4分9秒167を記録し決勝（1-2位決定戦）に進出したものの、決勝では相手チームに追いつかれて決勝はOVTとなりタイムの更新および優勝を達成することができなかった。特に決勝では、捕捉に至る以前の段階で隊列が維持できず崩壊したため、戦術遂行上の重大な問題が生じた。

各年度のラウンド間比較をみると、2023年および2024年は予選から決勝にかけてラップタイムの標準偏差に大きな乖離はなく、安定性が維持されていた（表2）。しかし、2025年は予選で極めて高い安定性（標準偏差0.2秒）を示していたにもかかわらず、決勝では標準偏差0.9秒と大幅に悪化した。この予選と決勝の著しい対比は2025年

決勝における戦略変更がパフォーマンスに及ぼした影響を分析する上で重要な指標となる。

2. 指導者の目標と戦術の変化と競技者の理解状況

表3には、4kmTPのパフォーマンスに関わる項目について指導者の目標と戦術の変化、それに対する競技者の理解状況を示している。指導者自身、本種目の指導知見が蓄積の途上であったことから、指導者が必ず抑えなければならないと考える項目は伝達し、実際に走る競技者同士で検討した方が良いと考えられる項目（走順の配置、ギア比の選択）については競技者の意見を取り入れる姿勢で関わっていた。

事例当初の2023-2024年の指導者は、競技者に対してペース配分を徹底するように伝達していた。特にレース前半は設定ペースよりも速く走ることを徹底的に避けることであった（以後、「前半抑制」と略す）。具体的には、目標タイムへ向けて「2023年（2024年）は1周目を21.5-22.0秒（21.5-22.0秒）で入り、15.2秒前後（15.1秒前後）で走る。緊張感があるとレース前半から速く走りたい気持ちは分かるが、レース前半は高ぶる気持ちを

表2. 4kmTPのパフォーマンス

年度 (ラウンド)	周回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	平均値	SD	タイム (手動計時) (電子計時)	備考		
2023 (予選)	Lap (秒)	21.6	15.2	15.1	15.0	15.2	15.4	14.9	15.4	15.2	15.4	15.2	15.3	15.4	15.2	15.2	16.0	15.3	0.2		4:10.7 4:10.336	予選2位で1-2位決定戦へ 進出。自チームの記録 (4分11秒918)を9年 ぶりに更新。	
	Split (秒)	21.6	36.8	51.9	66.9	82.1	97.5	112.4	127.8	143.0	158.4	173.6	188.9	204.3	219.5	234.7	250.7						
	1km lap (秒)		66.9								61.1					61.8							
	時速 (km/h)	41.7	59.2	59.6	60.0	59.2	58.4	60.4	58.4	59.2	58.4	59.2	58.8	58.4	59.2	59.2	56.3	58.9	59.9				
	1速 (ギア:4.00) ペダル回転数 (rpm)	82.7	117.5	118.3	119.0	117.5	116.0	119.8	116.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117.7	1.4			
	2速 (ギア:4.06) ペダル回転数 (rpm)	81.5	115.7	116.5	117.3	115.7	114.2	118.1	114.2	115.7	114.2	117.5	116.7	116.0	117.5	117.5	111.6	115.9	117.7				
	3速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	81.2	115.4	116.2	117.0	115.4	113.9	117.7	113.9	115.4	113.9	117.5	116.7	116.0	117.5	117.5	111.6	115.7	117.7				
	4速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	81.2	115.4	116.2	117.0	115.4	113.9	117.7	113.9	115.4	113.9	117.5	116.7	116.0	117.5	117.5	111.6	115.7	117.7				
	Lap (秒)	21.3	14.8	14.8	14.9	14.9	14.8	14.8	15.3	15.2	15.2	15.2	15.5	15.8	16.3	15.8	15.7	15.3	0.4				
	Split (秒)	21.3	36.1	50.9	65.8	80.7	95.5	110.3	125.6	140.8	156.0	171.2	186.7	202.5	218.8	234.6	250.3	-					
1km lap (秒)		65.8								61.1					63.6								
時速 (km/h)	42.3	60.8	60.8	60.4	60.4	60.8	60.8	58.8	59.2	59.2	59.2	58.1	57.0	55.2	57.0	57.3	60.4	1.7					
1速 (ギア:4.00) ペダル回転数 (rpm)	83.8	120.7	120.7	119.8	119.8	120.7	120.7	116.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119.9	1.3				
2速 (ギア:4.06) ペダル回転数 (rpm)	82.6	118.9	118.9	118.1	118.1	118.9	118.9	115.0	115.7	115.7	117.5	115.2	113.0	109.6	113.0	113.7	116.0	2.7					
3速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	82.4	118.5	118.5	117.7	117.7	118.5	118.5	114.7	115.4	115.4	117.5	115.2	113.0	109.6	113.0	113.7	115.8	2.6					
4速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	82.4	118.5	118.5	117.7	117.7	118.5	118.5	114.7	115.4	115.4	117.5	115.2	113.0	109.6	113.0	113.7	115.8	2.6					
Lap (秒)	21.8	15.0	14.9	14.9	14.9	14.7	15.1	15.5	15.0	15.0	15.3	15.8	15.7	15.4	15.8	15.2	0.4						
Split (秒)	21.8	36.8	51.7	66.6	81.5	96.4	111.1	126.2	141.7	156.7	171.7	187.0	202.8	218.5	233.9	249.7	-						
1km lap (秒)		66.6								60.8					62.7								
時速 (km/h)	41.3	60.0	60.4	60.4	60.4	60.4	61.2	59.6	58.1	60.0	60.0	58.8	57.0	57.3	58.4	57.0	60.3	1.4					
1速 (ギア:4.00) ペダル回転数 (rpm)	81.9	119.0	119.8	119.8	119.8	119.8	121.5	118.3	-	-	-	-	-	-	-	-	119.7	0.9					
2速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.5	117.0	117.7	117.7	117.7	117.7	119.3	116.2	113.2	117.0	119.0	116.7	113.0	113.7	116.0	113.0	116.3	2.1					
3速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.5	117.0	117.7	117.7	117.7	117.7	119.3	116.2	113.2	117.0	119.0	116.7	113.0	113.7	116.0	113.0	116.3	2.1					
4速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.5	117.0	117.7	117.7	117.7	117.7	119.3	116.2	113.2	117.0	119.0	116.7	113.0	113.7	116.0	113.0	116.3	2.1					
Lap (秒)	21.9	15.0	15.1	15.0	15.1	14.9	14.7	15.1	15.1	15.4	15.0	15.1	15.1	15.4	15.3	15.4	15.1	0.2					
Split (秒)	21.9	36.9	52.0	67.0	82.1	97.0	111.7	126.8	141.9	157.3	172.3	187.4	202.5	217.9	233.2	248.6	-						
1km lap (秒)		67.0								60.6					61.2								
時速 (km/h)	41.1	60.0	59.6	60.0	59.6	60.4	61.2	59.6	59.6	58.4	60.0	59.6	59.6	58.4	58.8	58.4	60.1	0.7					
1速 (ギア:4.00) ペダル回転数 (rpm)	80.1	119.0	118.3	119.0	118.3	119.8	121.5	118.3	-	-	-	-	-	-	-	-	119.2	1.1					
2速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.1	117.0	116.2	117.0	116.2	117.7	119.3	116.2	116.2	113.9	119.0	118.3	118.3	116.0	116.7	116.0	116.9	1.4					
3速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.1	117.0	116.2	117.0	116.2	117.7	119.3	116.2	116.2	113.9	119.0	118.3	118.3	116.0	116.7	116.0	116.9	1.4					
4速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.1	117.0	116.2	117.0	116.2	117.7	119.3	116.2	116.2	113.9	119.0	118.3	118.3	116.0	116.7	116.0	116.9	1.4					
Lap (秒)	21.7	15.0	14.9	14.9	14.9	15.1	14.9	15.3	15.4	15.3	15.3	15.4	15.3	15.2	15.3	15.6	15.2	0.2					
Split (秒)	21.7	36.7	51.6	66.5	81.4	96.5	111.4	126.7	142.1	157.4	172.7	188.1	203.4	218.6	233.9	249.5	-						
1km lap (秒)		66.5								61.4					61.4								
時速 (km/h)	41.5	60.0	60.4	60.4	60.4	60.4	60.4	58.8	58.4	58.8	58.8	58.4	58.8	59.2	58.8	57.7	60.0	0.8					
1速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	80.8	117.0	117.7	117.7	117.7	116.2	117.7	114.7	115.9	-	-	-	-	-	-	-	117.0	1.1					
2速 (ギア:4.21) ペダル回転数 (rpm)	78.1	113.0	113.8	113.8	113.8	112.2	113.8	110.8	110.1	110.8	114.7	113.9	114.7	115.4	114.7	112.5	113.2	1.6					
3速 (ギア:4.21) ペダル回転数 (rpm)	78.1	113.0	113.8	113.8	113.8	112.2	113.8	110.8	110.1	110.8	114.7	113.9	114.7	115.4	114.7	112.5	113.2	1.6					
4速 (ギア:4.29) ペダル回転数 (rpm)	76.8	111.1	111.9	111.9	111.9	110.4	111.9	108.9	108.2	108.9	114.7	113.9	114.7	115.4	114.7	112.5	112.1	2.2					
Lap (秒)	20.9	15.0	15.0	14.8	14.6	14.7	14.6	15.2	15.1	15.5	15.7	14.6	18.1	-	-	-	15.2	0.9					
Split (秒)	20.9	35.9	50.9	65.7	80.3	95.0	109.6	124.8	139.9	155.4	171.1	185.7	203.8	-	-	-	-						
1km lap (秒)		65.7								60.9					-	-	60.0	0.9					
時速 (km/h)	43.1	60.0	60.0	60.8	61.6	61.2	61.6	59.2	59.6	58.1	57.3	61.6	49.7	-	-	-	59.2	3.2					
1速 (ギア:4.07) ペダル回転数 (rpm)	83.9	117.0	117.0	118.5	120.2	119.3	120.2	115.4	-	-	-	-	-	-	-	-	118.2	1.7					
2速 (ギア:4.21) ペダル回転数 (rpm)	81.1	113.0	113.0	114.5	116.1	115.3	116.1	111.5	112.2	109.3	111.7	120.2	96.9	-	-	-	112.5	5.4					
3速 (ギア:4.21) ペダル回転数 (rpm)	81.1	113.0	113.0	114.5	116.1	115.3	116.1	111.5	112.2	109.3	-	-	-	-	-	-	113.5	2.1					
4速 (ギア:4.29) ペダル回転数 (rpm)	79.7	111.1	111.1	112.6	114.2	113.4	114.2	109.6	110.4	107.5	111.7	120.2	96.9	-	-	-	111.1	5.2					

※2025年決勝における各項目の平均値および標準偏差は、捕捉 (OVT) される前 (13周回) までに計測できたデータを用いて算出している。

表3. 指導者の目標と戦術の変化, 競技者の理解状況

年度	2023		2024		2025		
	対象者	指導者	競技者	指導者	競技者	指導者	競技者
目標タイムと順位		4分9秒台を出して決勝(1-2位決定戦)へ進出する	指導者と共通認識	前年度記録(4分9秒920)を更新して2位以上(優勝狙い)の順位を狙う	指導者と共通認識	予選は安全に通過して決勝は自チームの記録(4分8秒142)を更新し、調子がよければ日本学生新記録(4分04秒673)にも挑戦	指導者と共通認識
走順の役割		第1走: 静止状態からスタートを切りペースを作る。 第2走: ペースを安定させる 第3・4走: ペースを維持し、長い距離を牽引する	指導者と共通認識	前年度から変更なし	指導者と共通認識	前年度から変更なし	指導者と共通認識
走順の配置方法		競技者の意見を尊重して決定	練習の段階で様々な走順を試し、感覚が良い順番を決定する	前年度から変更なし	前年度から変更なし	前年度から変更なし	前年度から変更なし
ギア比選択の方法		競技者の意見を尊重して決定	目標タイムに合わせて設定4.00-4.07倍の範囲	競技者の意見を尊重して決定	目標タイムに合わせて設定4.00-4.07倍の範囲	競技者の意見を尊重して決定	目標タイムが引き上がったことで4.07-4.29倍に高歯へ大会前の合宿でギア比を判断。先頭(1番手)では負荷がかかってくる一方、追走(2-4番手)では休むことができるため
設定タイム(トータルタイム)		1周目: 21.5秒, 2周目以降: 15.2秒(4分9秒50)	指導者と共通認識	1周目: 21.5秒, 2周目以降: 15.1秒(4分8秒00)	指導者と共通認識	1周目: 21.3秒, 2周目以降: 14.9秒(4分4秒80)	指導者と共通認識
ペース配分に関する戦術		前半: レースペースに乗せて走行する。絶対的な原則として、設定ペースよりも速く走ること避ける(1周目は落ち着いて走り、2周目以降のラップタイムは2kmまでは15秒前半で走る。14秒台には乗せない)。 中盤: イープンペースを維持。 後半: 余裕がある場合には、ビルドアップ(徐々に速度を上げる)して、タイム短縮を狙う。 決勝は、対戦相手が見えても自分たちのペースを刻む。	指導者と共通認識	基本的な戦術は変更なし。目標タイムが前年度より速くなっている。1周目は落ち着いて走り、2周目以降のラップタイムは2kmまでは15秒以下で走る。14秒台に入ったとしても14秒後半でペースを刻むこと最優先。決勝は、対戦相手が見えても自分たちのペースを刻む。	指導者と共通認識	2周目以降のラップタイムは14秒後半でペースを刻む。14秒中盤にならないように気を付ける。 ※1周目の指示はあったか確認	指導者と共通認識
先頭交代と牽引距離		競技者の意見を尊重して決定	ペースを安定させることを最優先して、先頭交代の箇所を事前に決める。レース中のコンディションを踏まえて微調整する。1走については、スタート局面でスピードを乗せる際、疲労が高いのでレース途中で離脱しても良い。	前年度から変更なし	指導者と共通認識	先頭交代の際、一度1後退すると1車身分後退することでタイムロスになってしまふ。また、先頭交代の回数が少なくなることで先頭の牽引時間が伸びる。2-4番手の追走時間が増えて休むことができるため、各走者ができる限り長い距離を牽引することを推奨。1走については、スタート局面でスピードを乗せる際、疲労が高いのでレース途中で離脱しても良い。	指導者と共通認識
走行技能		走行時は隊列を1列に整える。できる限り前後の車間は狭くする。	指導者と共通認識	前年度から変更なし	指導者と共通認識	前年度から変更なし	指導者と共通認識 加えて、コーナリング中には、自転車の内傾と重心移動を活用して脚の疲労を抑える技能がみられた。
タイムのフィードバック方法		口頭で伝達	聴覚で聴く	前年度から変更なし	前年度から変更なし	前年度から変更なし	前年度から変更なし

抑えること、後半余裕があれば力を出し切るように」というものであった。競技者たちもレース前半は、設定ペースより速く走りすぎること避けようという意識を持ってレースに臨んでいた。この戦略は功を奏し、2023年は目標の4分9秒台を達成、特に2024年決勝ではラップタイムの標準偏差0.2という周回タイムの高い安定性のもと、4分8秒142という好成績を取めた。

2025年の指導者は、更なる記録更新と優勝を目標に取り組んだ。具体的には、2024年の目標タイム4分8秒00(ラップタイム15秒1)から自チームの記録更新(4分8秒142)の更新および日本学生新記録(4分4秒673)を視野に入れた4分4秒80(ラップタイム14秒9)へと設定を引き上げた。それに伴い先頭交代によるタイムロス(先頭交代が一度行われると1車身分後退)を最小限に抑えるため、1回あたりの牽引距離を競技者個人の疲労状況が少なければ、前年より1/4周でもよいので伸ばすことを伝達した。これにより、先頭(1番手)の牽引時間が伸びるため、2-4番手の追走時間が増えて休むことができるというメリットもあると考えていた。この戦略で挑んだ結果、決勝では相手チームに追いつかれて

OVTとなり優勝できなかった。さらに捕捉に至る以前の段階でチームが隊列を維持できずに崩壊してしまった。2025年決勝のラップタイムの標準偏差をみると0.93秒であり、2023年(0.4秒)や2024年(0.2秒)と比較して極めて大きく、本事例期間中の結果で最も不安定なペースであった。

3. 戦術の遂行状況と隊列崩壊

ここでは前述の戦略が実際のレースでどのように実践されたかを説明する。表4には、4kmTPにおける年度別・競技者別の先頭交代の状況を示している。250m競技場を16周回する内、それぞれの競技者の走行順序と先頭交代の回数を示した。

2025年決勝の隊列崩壊の様子を4kmTPのパフォーマンス(表2)先頭交代データ(表4)を合わせて確認すると、まずF競技者が1番手だった1周目は過去最速の20.9秒であった。その後、E競技者が1番手となった5周目には、直前の4周目(14.8秒)から0.2秒短縮され14.6秒へと加速した(変化量-0.2秒)。続くC競技者は7周目まで14.6秒を維持した。F競技者とD競技者が再

表4. 4kmTPにおける先頭交代データ

年度 (ラウンド) タイム	競技者名	周回数																先頭交代 回数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
2023年 (予選) 4:10.336 (決勝) 4:09.920	D競技者	1番手 1.75周		4番手 1.50周		3番手 2.00周		2番手 2.00周		1番手 0.50周	離脱により未走行						7回	
	A競技者	2番手 1.75周		1番手 1.50周		4番手 2.00周		3番手 2.00周		2番手 0.50周	1番手 2.00周		3番手 2.75周		2番手 3.50周			
	C競技者	3番手 1.75周		2番手 1.50周		1番手 2.00周		4番手 2.00周		3番手 0.50周	2番手 2.00周		1番手 2.75周		3番手 3.50周			
	B競技者	4番手 1.75周		3番手 1.50周		2番手 2.00周		1番手 2.00周		4番手 0.50周	3番手 2.00周		2番手 2.75周		1番手 3.50周			
2024年 (予選) 4:10.336 (決勝) 4:08.142	E競技者	1番手 2.75周		4番手 1.50周		3番手 1.50周		2番手 1.50周		1番手 0.50周	離脱により未走行						9回	
	D競技者	2番手 2.75周		1番手 1.50周		4番手 1.50周		3番手 1.50周		2番手 0.50周	1番手 1.00周		3番手 2.50周		2番手 1.50周	1番手 0.50周		3番手 2.75周
	C競技者	3番手 2.75周		2番手 1.50周		1番手 1.50周		4番手 1.50周		3番手 0.50周	2番手 1.00周		1番手 2.50周		3番手 1.50周	2番手 0.50周		1番手 2.75周
	B競技者	4番手 2.75周		3番手 1.50周		2番手 1.50周		1番手 1.50周		4番手 0.50周	3番手 1.00周		2番手 2.50周		1番手 1.50周	3番手 0.50周		2番手 2.75周
2025年 (予選) 4:09.167	F競技者	1番手 2.75周		4番手 1.00周		3番手 1.50周		2番手 2.00周		1番手 1.25周	離脱により未走行						7回	
	D競技者	2番手 2.75周		1番手 1.00周		4番手 1.50周		3番手 2.00周		2番手 1.25周	1番手 1.75周		3番手 1.50周		2番手 4.25周			
	E競技者	3番手 2.75周		2番手 1.00周		1番手 1.50周		4番手 2.00周		3番手 1.25周	2番手 1.75周		1番手 1.50周		3番手 4.25周			
	C競技者	4番手 2.75周		3番手 1.00周		2番手 1.50周		1番手 2.00周		4番手 1.25周	3番手 1.75周		2番手 1.50周		1番手 4.25周			
2025年 (決勝) OVT	F競技者	1番手 2.75周		4番手 1.00周		3番手 1.50周		2番手 2.00周		1番手 0.50周	離脱により未走行						-	
	D競技者	2番手 2.75周		1番手 1.00周		4番手 1.50周		3番手 2.00周		2番手 0.50周	1番手 1.00周	3番手 1.00周	2番手 2.50周			ここでOVT(補完終了)		
	E競技者	3番手 2.75周		2番手 1.00周		1番手 1.50周		4番手 2.00周		3番手 0.50周	2番手 1.00周	1番手 1.00周	3番手 降列から徐々に車間が空いてしまう					
	C競技者	4番手 2.75周		3番手 1.00周		2番手 1.50周		1番手 2.00周		4番手 0.50周	3番手 1.00周	2番手 1.00周	1番手 2.50周					

※2023年と2024年では予選と決勝で先頭交代に変化がなかったが、2025年は予選と決勝とで異なっていたため分けて示している。

び1番手となった8周目は、直前の7周目(14.6秒)から15.2秒へと0.6秒の大幅なペースダウンが生じた(変化量+0.6秒)。さらにE競技者が1番手に立った10周目には、直前の9周目(15.1秒)からさらに0.4秒遅れ15.5秒となった(変化量+0.4秒)。このように先頭交代のたびに0.4秒から0.6秒という大きな負の変化が繰り返された結果、11周目以降に隊列が維持できなくなり、13周目途中で崩壊に至った。

4. 指導者の過信の根拠となった個人能力データ

表5には、年度毎の4kmTP記録と対象者の個人能力を示している。2025年の4kmTPのメンバーは、2024年度の好成績を残した3名が引き続き選出されていたことに加えて、新規メンバーも高校時代に国際大会での競技経験と実績を有していた。そのため指導者は、2025年度のチーム編成が過去と比較して最も良いパフォーマンスを発揮し得ると判断していた。また、個人種目においても4名全員が良好な結果を示していたことから指導者のその認識は一層強化されていた。

しかし指導者は、これら個々の能力指標を加算的に捉え、個人能力が積み重なればチームとしての総合的パフォーマンスも自ずと向上すると安易に想定していた。その結果、戦略的に留意すべき点やリスクマネジメントの重要性を相対的に軽視する状況が生じていた。すなわち、「個人の能力の高さがそのままチームの競技の成功に直結するだろう」という認知が、指導上の判断に影響

を与えていた。

5. 2025年全日本インカレ後の内省状況

(1) 対象者の振り返り

ここでは、指導者が対象者に行った内省報告を整理し、レース中の先頭交代の状況やペースの推移などの事実と合わせて記述する。2023年と2024年は予選と決勝レース、2025年はOVTとなった決勝について記述する。

① 2023年および2024年の良好点に関する内省

2023年大会では、安定したペースを保ちながら(ラップタイムの標準偏差: 予選0.2秒, 決勝0.4秒)先頭交代(7回)の回数を少なくできた点を特徴として挙げている。対象者の内省によると、2走を務めたA競技者は、当時のチーム内でスピード(1kmTTで1分5秒台)と持久力(4kmIPで4分27秒台)を有していた(表5)。2走で求められる能力は、1走の加速後ペースを安定させる必要があるため、1走に負けないスタート局面の加速力が必要となるが、A競技者にはこれらの能力が備わっていた。そのため、A競技者が2回目の先頭(1番手)を走る際、負荷がかかるスタート局面やレース後半でも脚の疲労感に余裕があるため2.00周を牽引することができた。また、3走と4走についても安定したペースで走っていたことから、走順の役割である「長い距離(2.75-3.50周)を先頭で牽引すること」ができた。

2024年大会では、安定したペース(平均ラップタイ

表5. 年度毎の4kmTP記録と対象者の個人能力

年度	走順	対象者	学年	ギア比	200mFTT (秒:ミリ秒)	1kmTT (分:秒:ミリ秒)	4kmTP (分:秒:ミリ秒)	無酸素パワー テスト (W)	Wntピーク パワー (W)	Wnt平均 パワー (W)	LCT LT (W)	LCT OBLA (W)	LCT オールアウト パワー (W)	主な大会結果
2023	1	D競技者	1	4.00	10.91	1:08.20	4:40.10	1257.0	980.0	728.0	248.0	308.0	456.0	全日本学生選手権スクラッチ3位 高校時代、全国高校総体3kmIP2位
	2	A競技者	4	4.06	10.28	1:05.519	4:27.123	-	-	-	261.0	346.0	512.0	全日本インカレマディソン優勝、 4kmIP4位
	3	C競技者	1	4.07	10.84	1:07.03	4:29.753	1109.0	901.0	683.0	225.0	294.0	445.0	全日本学生選手権オムニアム5位
	4	B競技者	3	4.07	11.27	1:08.36	4:33.950	1052.0	914.0	707.0	284.0	325.0	395.0	全日本インカレマディソン優勝、 オムニアム3位 高校時代、全国高校総体3kmIP優勝（ジュニア日本記録樹立）
	平均			4.05	10.83	1:07.28	4:32.73	1139.3	931.7	706.0	254.5	318.3	452.0	
	SD			0.03	0.35	1.14	4.90	86.4	34.6	18.4	21.4	19.4	41.6	
2024	1	E競技者	1	4.00	10.89	1:08.00	4:41.00	1118.0	940.0	676.0	224.0	289.0	400.0	全日本学生選手権スクラッチ4位
	2	D競技者	2	4.07	10.83	1:08.50	4:39.30	1242.0	1052.0	747.0	250.0	315.0	452.0	全日本インカレマディソン2位 全日本学生選手権スクラッチ5位
	3	C競技者	2	4.07	10.87	1:07.17	-	-	-	-	-	-	-	全日本インカレオムニアム優勝、 全日本選手権オムニアム4位
	4	B競技者	4	4.07	-	-	4:38.132	1108.0	958.0	717.0	292.0	334.0	-	全日本学生選手権ロードレース8位
	平均			4.05	10.86	1:07.89	4:37.05	1156.0	983.3	713.3	255.3	312.7	426.0	
	SD			0.03	0.02	0.55	4.33	60.9	49.1	29.1	28.0	18.4	26.0	
2025	1	F競技者	1	4.07	10.671	1:05.027	4:42.67	1081.0	899.0	693.0	212.0	285.0	412.0	全日本学生選手権スクラッチ4位 高校時代、アジア選手権オムニアム優勝 ジュニア世界選手権4kmTP1走経験有り
	2	D競技者	3	4.21	10.599	1:05.77	4:42.00	1324.0	1141.0	799.0	281.0	342.0	502.0	全日本インカレマディソン優勝、 全日本学生選手権オムニアム優勝
	3	E競技者	2	4.21	10.592	1:06.534	4:39.361	1015.0	953.0	732.0	262.0	318.0	462.0	全日本学生選手権オムニアム7位
	4	C競技者	3	4.29	-	1:06.10	4:27.554	1151.0	921.0	705.0	286.0	348.0	467.0	全日本インカレオムニアム・マディソン優勝、 日本自転車競技連盟強化選手
	平均			4.20	10.62	1:05.92	4:38.59	1142.8	-	-	260.3	323.3	460.8	
	SD			0.08	0.04	0.64	6.38	115.2	-	-	29.3	24.8	32.1	

※実走のタイムは公式大会の結果を引用し、電子計時による記録は1/1000秒まで、公式大会での手動計時（公認記録）は結果に従い1/100秒まで記述している。

ム：予選15.2秒，決勝15.1秒，ラップタイムの標準偏差：予選0.4秒，決勝0.2秒）を保つために，長い距離を先頭で牽引することが困難な競技者に対して，ペースを維持できない時は牽引の距離を短くするという共通認識があった点を特徴として挙げている。この年に2走を担当したD競技者は，長距離の牽引を得意としていなかった。そこで，ペースを保つことを最優先にするために，D競技者は2回目の先頭（1番手）では1.00周，3回目の先頭では0.50周という他の競技者よりも短い距離を牽引する戦略を用いた。この戦略を採用した結果，先頭交代の回数は2023年より2回多い9回となった。

このように，2023年および2024年を振り返ると良好点が2点あげられた。1つ目は走行ペースが安定していた点。2つ目は，長い距離を先頭で牽引することが困難な競技者に対して，短い牽引距離で交代することをチーム内で分担することができた点だった。

②2025年の改善点に関する内省

2025年大会決勝では，予定していた設定ペースよりも実際のラップタイムが速かったことに加えて，ペースを安定させられなかった点（ラップタイムの標準偏差：0.9秒）を特徴として挙げている。

対象者の内省によると，レース前の戦略では1周目21.3秒を予定していたが20.9秒（-0.4秒）と大幅に速く

なった。その後の周回（5 - 7周目）では14.9秒を予定していたにも関わらず，14.6 - 14.7秒（-0.2 - 0.3秒）と予定よりも速く走ってしまった。競技者の証言によると，決勝の舞台は会場の声援が大きく，ラップタイムを聞きにくい状態であったことに加えて，競技者自身の緊張感からラップタイムを聞き取る余裕がなく，走行速度が適切かどうか判断できなかったことが影響していた。その結果，隊列が崩壊した際もコミュニケーションを取ることができず2名体制になってしまった際も，そのまま走り続けてしまった点が反省点として挙げられていた。

先頭交代については，予定よりもペースが速くなったことで競技者の疲労感が高まり，体力的な余裕がなかったにも関わらず，できる限り長い距離を牽引するために，1巡目の先頭交代を予選と同様に実施していた。その影響として，2巡目の先頭交代ではF競技者，E競技者の2名が強い疲労を抱えていた。競技場内にいた指導者は，両名の走行フォームの乱れやラップタイムの急激な低下から，この疲労を試合中に察知していた。しかし，時速60km/h近い高速走行下であることに加え，会場の大きな声援によって口頭での指示が届かず，疲労に気づいていながらも他の競技者（C・D競技者）へ状況を伝達することが物理的に不可能な状態であった。この「気づいていながら介入ができない」という指導者からの伝達手段の欠如が，最終的な隊列の崩壊を許す要因の一つ

となった。

一方で、C 競技者は前走者が作ったラップタイムの維持に努めていた（表2、表4）。また、対戦相手チームが視界に入り、自チームがリードしていると感じていたこともあり、パフォーマンスは良好であるとの認識を持っていた。このように、強い疲労を感じていた2名とペースが維持できると感じていたC 競技者の間で、レース中の状況認知に差異があったこともわかった。

さらに、C 競技者からは、先頭交代について以下の点が共有された。予選では、C 競技者がチーム内で最も長い牽引距離（6.25周回）を担当しており、1名の競技者に負担が集中すると、個人のコンディションがチーム全体のパフォーマンスに大きく影響するリスクが高いという認識が示された。そのため、C 競技者は今後チーム編成において、まずは、全ての競技者が均等に同じ牽引距離を走ってみて個々の実力を把握する。その上で牽引距離を調整し、特定の競技者に牽引負担が偏らない戦術構成にする必要性も指摘していた。

加えてD 競技者は、隊列崩壊の技術的要因として、F 競技者の走行ラインの乱れと、コーナーリング時におけるバイク内傾角の不十分を指摘した。これらの技術的未熟さは、先頭走者自身の疲労蓄積を早めるだけでなく、追走者の体力消費を増大させる要因となるという実践知が共有された。予選時と比較してこれらの遂行能力が低下したことが、隊列全体の不安定化を助長した可能性が示唆された。

③ギア比の選択とペダル回転数に関する内省

本事例で使用されたギア比とペダル回転数は、2023-2024年では4.00-4.07倍で116-119rpm、2025年では4.07-4.29倍で112-117rpmであった。

対象者の内省によると、高いギア比（4.07-4.29倍）は、低いギア比（4.00-4.07倍）よりもスタート時の加速局面や先頭牽引時に脚への負荷が大きくなる一方、巡航速度を上げやすいという利点があると述べていた。また、高いギア比ではペダル回転数が相対的に低下することで、追走局面では体力を温存しやすいという認識も共有されていた。

しかし、ギア比が大きくなるほど「ペダル1回転で進む距離」が長くなるため、わずかな力の変動が速度の上下として現れやすく、走行速度を一定に保つことが難しくなるというリスクについては競技者・指導者共に既知であった。しかし、2025年決勝のような日本学生新記録を視野に入れた超高速域（14秒台）かつ高いギア比（4.29倍）という条件下では、その既知のリスクを上回るほど繊細なペース調整が物理的に困難であったと再認識された。

4 kmTP は時速60km 前後の高速域で数センチ単位の車間距離を保ち走行するが、先頭走者が設定よりわずかに加速すると、後続走者には「車間を維持するための急激な追走負荷」が生じる。後続走者は、先頭の加速に対して反応が遅れる分、離れかけた車間を埋めるために先頭以上の出力（オーバーシュート）を強いられ、この速度調整の負担は隊列の後方に行くほど増幅される構造にあると認識されていた。

2025年決勝では、実際に1周目から設定より速いペースに入ったことが、自身や他の競技者の疲労蓄積を早め、その後のペース乱れや隊列の崩壊につながった可能性がある対象者は振り返っていた。また、高いギア比は、微細なペース調整が難しく、隊列としてのリズムを維持しにくかったという点も言及されていた。さらに対象者は、練習段階では4名全員が高いギア比（4.07-4.29倍）を扱えると判断していたが、本番の緊張やレース展開の変化により、想定していたよりも速度制御が難しかった可能性も挙げていた。

これらの内省から、対象者および指導者は、ギア比の選択に関して、エネルギー消費の低減という利点と、速度維持の難しさや疲労の増幅といったリスクの両面をレース前から十分に理解（既知）していた。しかし、2025年決勝という極限の状況下では、その既知のリスクが想定を上回る形で顕在化し、高いギア比が隊列の安定性を損なう決定的な要因となったことを、レース後の分析を通じて再認識するに至った。つまり、知識としての理解はあったものの、超高速域における制御の難しさを過小評価していたことが、実践上の課題として浮き彫りになった。

(2) 指導者の振り返り

ここでは、前項で記述した競技者の内省報告および2025年決勝のパフォーマンスの不安定化（標準偏差0.9秒）を踏まえ、指導者自身の内省内容を報告する。

①成功体験による過信と指導体制

指導者は、2023年および2024年の連続的な成功体験と好記録（4分08秒142）が、自身の判断における過信と慢心を生む背景となったと振り返った。さらに2025年のチーム編成については、個人の能力データ（表5）に基づき「これまでで最も戦力が充実している」と認識していた。そのため、「個人の能力の高さがチームの成功に直結する」と捉え、各要因の「足し算」で勝利が達成可能であると想定していた点を、戦術面やリスク管理が相対的に軽視された要因として挙げた。

②戦術的優先順位の認識

2025年に採用した「先頭交代回数を減らし、各走者が長距離を牽引する」戦略について、指導者は「タイムロス避け、追走者の休息時間を増やすメリット」を意図していたと述べた。しかし、実際にはラップタイムの不安定化（標準偏差0.9秒）と隊列崩壊を招いた結果を受け、ペース安定化という過去の成功原則から外れたことが失敗に繋がったと振り返っている。

③リスク管理に関する内省

指導者は、2025年決勝で生じた「想定以上のオーバーペース」「隊列崩壊」「騒音による伝達不全」といったトラブルに対し、事前の具体的な回避策（「前半抑制」の再徹底、3名ゴールの原則、非言語的合図の確保など）の提示が不十分であったと振り返った。これらの徹底を怠った心理的要因として、出場する競技者全員の経験の豊富さに依存し「彼らならできる」と過信していた点に加え、自身の4kmTPに関する指導経験の乏しさから、基本的な情報の伝達を遠慮してしまったことを回想した。このように、複数の要因が重なり、管理上の役割を十分に果たせなかったと認識している。

④組織的継承の状況

指導者は、大会後の競技者との対話を通じて、「毎年過去の反省を思い出しながら4kmTPの走行練習を開始するため、安定したペースの維持やスムーズな先頭交代ができる状態に至るまで苦労がある」という組織的継承の不備を認識したと述べた。これは、全日本インカレ後の過密日程による振り返り時間の不足や、新メンバー加入時の現場対応が優先され、知見を体系的に共有する機会を設けられなかったことに起因していたと振り返っている。

IV. 考 察

前項では、過去3年間の成功事例と失敗事例を対比的に振り返り報告した。ここでは、2025年決勝の失敗に至った戦略的・指導上の判断の誤りを深く分析し、大学チームの指導現場において継承すべき戦略的・指導上の実践知を提示する。

1. 4kmTPにおけるペース安定性の原則と戦略的 反省

4kmTPのパフォーマンスを向上させるための主要な戦略的原則（de Koning et al., 1999; Barry et al., 2015）は、走行ペースの安定性を維持することである。本事例においても、最良の記録（4分08秒142）を樹立した2024年決勝はラップタイムの標準偏差が0.2秒と最も安定してい

た一方、隊列崩壊を招いた2025年決勝のラップタイムの標準偏差は0.9秒と極度に不安定であった事実は、この原則の重要性を実証している（表2）。

空力的相互作用とは、先行者によって生じる空気抵抗によってその後方に生じる低圧部（スリップストリーム）に後続走者が入り込むことで、隊列全体の空気抵抗を低減させる相互関係を指す（Barry et al., 2015）。2周目以降のラップタイムの変動（標準偏差）を縮小させることで、走者間の距離や相対速度が一定に保たれ、隊列全体の空気の流れが安定する。その結果、チーム全体の空気抵抗が低減し、エネルギー消費を最小限に抑えることが可能となる。逆に2025年決勝のようにペースが極度に不安定化すると、車間距離の微調整が繰り返されて空気の流れが乱れ、この空力的相互作用が発生しないことから、エネルギー消費を抑えることができなくなったと推察される。

さらに、ペース変動の縮小は、空気抵抗の低減に加え、加減速に伴う不必要な動作を抑えることで筋疲労の蓄積を抑制し、エネルギー消費効率の維持に寄与すると考えられる（de Koning et al., 1999; Barry et al., 2015）。

実際、競技者へのインタビューからは、「走行ラインの安定やコーナーリング中のバイクの内傾角度の維持といった技術的遂行能力が、脚の疲労軽減に直結する」という実践的な認識（実践知）が示された。これは、速度変動を最小限に抑えることが生理的・力学的効率の観点から重要であるとする先行研究（de Koning et al., 1999; Barry et al., 2015）の知見を、トップレベルの競技者が身体感覚として再確認したものと言える。このように、個々の競技者が実感している技術的知見は、単なる主観に留まらず、隊列全体の空力的相互作用を最大化させるための具体的な方策として、チーム内で組織的に共有されるべき普遍性を有している。

(1) 牽引距離とラップタイムの安定性の関係

2024年大会における成功の要因の1つは、ペースの安定性を最優先した指導体制にあった。特にレース前半はオーバーペースにならないように気を付けることである。長距離の牽引が困難な競技者（D競技者）に対しては、短い距離で交代すること（2回目の先頭で1周、3回目は0.5周）が許容された（表4）。その結果、先頭交代回数は2023年よりも2回多い9回となったものの、周回タイムの高い安定性が実現した。この事実は、先頭交代回数が多く、各走者の牽引距離を短くすることが、チーム全体の走行速度の安定化に寄与する実践知であることを支持している。

(2) 戦術的原則からの逸脱

2025年の指導者は、更なる記録更新と優勝を目標に臨むにあたり「先頭交代時に1車身分後退するデメリット（タイムロス）を避けるため、各走者ができる限り長い距離を牽引すること」を推奨した。加えて、交代回数が減少することで、2-4番手の追走時間が増えるメリットも想定していた。しかし、「長牽引・少交代」戦略は、過去2年間の成功を通じて得られた「ペースを安定させることを最優先する」という原則からの逸脱であり、極度のペース不安定化を招いた（ラップタイムの標準偏差0.9秒）。

これは、交代の頻度を意図的に減らすことで得られるタイムロスを避けられるメリットよりも、ペース変動が引き起こす追走者全体の疲労増大と隊列崩壊のリスクというデメリットの方が、チームとしての総合的パフォーマンスに対して遥かに大きかったことを示している。この戦略的な判断ミスを誘発した背景には、2025年メンバーが個人種目で好成績を収めていたことがある。具体的には、全日本インカレのオムニウムおよびマディソン種目での優勝者（C競技者、D競技者）に加え、アジア選手権優勝やジュニア世界選手権出場経験を持つ新規メンバー（F競技者）など、4名全員が学生トップレベルの戦績を有していた（表5）。指導者は、これらの「個人の実績」を過度に評価し、それらを加算的に捉えれば勝利が達成できると安易に想定した結果、本来最も重視すべき戦術の安定性やリスクマネジメントの重要性が相対的に軽視されていたと考えられる。

(3) ギア比選択とペース安定性・疲労蓄積の関係

本事例では、2023-2024年に比べて2025年に高いギア比（4.07-4.29倍）を採用したことにより、ペダル1回転あたりの進行距離が長くなり、わずかな出力変動が速度変動として現れやすい状況でレースに臨んでいた。対象者の内省からも、高いギア比は巡航速度の向上や追走局面での体力を温存しやすいといったメリットがある一方で、走行速度を一定に保つことが難しく、先頭走者のオーバーペースが後続の過剰な負荷として増幅されやすいという認識が示されていた。

実際に2025年決勝では、高ギア比による大きな負荷がかかるスタート局面で、予定を0.4秒上回る20.9秒で入ったことは、第1走者（F競技者）だけでなく、追走する3名にも想定以上の無酸素性エネルギーの消費を強いたと考えられる。1周目のオーバーペースが基準速度を上振れさせ、さらに高ギア比による速度制御の難しさが加わったことで、2周目以降も設定より速いラップタイムを刻み続ける「負の連鎖」が生じた。これが2巡目の先

頭交代時におけるF・E競技者の致命的な疲労につながった。このことは、4kmTPにおけるギア比の選択が、単に最高速度の追求のみならず、隊列走行におけるペース制御のしやすさや疲労蓄積の仕方とも関連していることを示唆している。

したがって、今後の指導においては、ギア比選択を「個々の競技者が扱えるかどうか」という観点だけで判断するのではなく、「4名が共通のリズムを保ちペースを維持できるか」というチーム全体の視点から再検討する必要がある。

さらに、2025年の崩壊背景には、他種目出場による累積疲労の影響が無視できない。表5の通り、主力で上級生のC・D競技者は多種目での活躍により疲弊していた一方、ほぼ4kmTPに専念していた低学年のF・E競技者には本来余力があったはずである。しかし、1年生のF競技者は決勝特有の緊張感から1周目に想定外のオーバーペース（20.9秒）を招き、結果としてE競技者が隊列から脱落した。上級生の主力競技者（C・D競技者）は他種目への出場による疲労を抱えていたにも関わらず、レース中には高いパフォーマンス（走行速度）を発揮した。しかし、その高い速度は4kmTPのみに専念していた低学年競技者（E・F競技者）の追走可能な走行速度の限界を越えさせてしまったと推察される。指導者の実践知として、出走スケジュールの差異や個々の心理面を考慮した柔軟な戦術選択が極めて重要である。

2. レースにおける最優先原則の確立とコミュニケーションの教訓

(1) リスク管理原則の徹底

本事例の失敗から得られる最も重要な指導上の教訓は、目標達成に向けた最優先原則の確立と徹底が欠如していた点にある。指導者は2025年決勝において、更なる記録更新と優勝を目標に掲げた結果、「レース前半は設定ペースより速く走ることを徹底的に避ける」というリスク管理上の原則の明確な伝達を十分に行っていなかった。

具体的には、2023-2024年には事前のミーティング等を通じて原則を繰り返し周知していたのに対し、2025年は練習時やレース直前の競技場内における数分程度の口頭指示（数回）に留まっていた。競技者の高い実績に基づく「言わずとも理解しているだろう」という指導者の予断が、情報伝達の質と量の著しい低下を招いた。

競技者は、最高のパフォーマンスを発揮するため「うまくいくこと」を想定して行動する必要があるが、指導者はその対極として「うまくいかなかった場合」や「想定外のトラブル」を想定し、事前にアドバイスを確認する責任があった。

2025年決勝の失敗の本質はこの前半抑制の戦術を1周目から逸脱した点にある。F 競技者（1走）が予定（21.3秒）より大幅に速い20.9秒で1周目を走行したことが、その後の周回は想定よりも速いラップタイム（14.6–14.7秒）を招き、結果として2巡目の先頭交代に入る時点でF 競技者、E 競技者の強い疲労につながった。指導者は競技者に対して、このような状態になっている場合、レース前半であったとしても予定の牽引距離を遂行するのではなく、「短牽引・頻交代」の選択肢を検討することが必要であったと考えられる。

また、レース前半の走行時におけるC 競技者は、従来より速いラップタイムを刻んでいたことで対戦相手チームが視界に入っていた。これにより、C 競技者は自チームのリードを認識し、「良いパフォーマンスが発揮できている」という手応えを感じていた。

一方で、他の競技者にとってはそのペースが4 kmを走破するにはオーバーペースであり、競技者間で認識のギャップが生じていた。

4 kmTP では3名の競技者がゴールする必要があるため、特に3番手の競技者が強い疲労を感じている際には、声などの手段を用いて先頭競技者へ疲労状況を伝え、ペース調整を図る必要がある。本事例ではこのコミュニケーションが十分に取れず、結果としてオーバーペースのまま隊列が崩壊したと考えられる。

(2) 非言語的コミュニケーション手段の確立

隊列崩壊の要因の一つとして、レース中の情報伝達の不確実性が挙げられる。4 kmTP のルールでは、競技場内の安全帯に1名が入ることが認められており、本研究ではラップタイムの情報を口頭で競技者に伝達していた。しかし、2025年決勝では、会場の声援が大きく、競技者がラップタイムを聞き取りにくい状態であったと報告されている。さらに、競技者自身の緊張感から、聴覚で得た情報に基づいて走行速度が適切であるかを判断する余裕がなかったとも述べられている。

この状況は、指導者が想定すべき「想定外のトラブル」の一つであった。口頭による情報伝達だけに依存することは、決勝ラウンドのような興奮度や騒音レベルが高い環境下においては、情報の不確実性を生じさせる。

この経験から、今後の指導で継承すべき実践知は、聴覚情報に依存しないコミュニケーション手段の確保である。具体的には、音声に加え、動作や視覚的合図（ハンドジェスチャーなど）を併用することで、情報伝達の確実性を高め、隊列の一体性を維持することが示唆される。この非言語的な合図を事前にチーム内で確立しておくことは、競技者が判断の余裕を失った際にも、ペース

配分の原則を再確認するための決定的な手段となる。

3. 組織的継承のための実践知の体系化

本研究の分析から、大学チームのように競技者が入れ替わる組織において、成功と失敗の経験を「組織的規範」として継承することの重要性が浮き彫りとなった。2025年の失敗を教訓とし、今後継承すべき実践知を以下の3領域・7項目に集約して提示する。

(1) 戦略的原則の規範化

①ペース安定性の原則の徹底：最優先事項は速度変動の抑制である。特にレース前半はオーバーペースを避ける。仮にオーバーペースになった場合は「短牽引・頻交代」を選択してチーム全体で疲労を分散し、後半の速度維持を規範とする。

②3名ゴールの完遂：いかなる展開でも隊列を維持し3名以上でゴールするリスク管理を徹底する。特に順位決定戦では対戦相手が視界に入った場合でも、設定ペース維持を原則とし、3番手競技者の疲労が高い場合は声などの手段で先頭競技者へ状況伝達し、ペース調整を図る。

(2) トレーニング手法の標準化

③牽引距離の検討方法と走順の適正配置：牽引距離は主観に頼らず、練習の際、4 kmTP を1度全員一律の牽引距離で走行してみる。その後、試行から得たデータ（結果）に基づきレース時の牽引距離を検討する。走順は各ポジションに求められる役割を明確にした上で適正配置を行う（1走：静止状態からのスタートとペース作り、2走：1走が作り出したペースを安定させる、3・4走：隊列のペース維持と長い距離の先頭牽引）

④ペダル回転数を基盤とした4分間持続能力の育成：ペダル回転数そのものを一定に保つための能力を身につける。具体的には、低いギア比から開始して、4分間目標回転数を保つことを最優先する。回転リズムの安定が達成されたら徐々にギア比を高める。回転数の安定化がギア比に左右されない状態へ段階的に移行させる。

⑤目標速度を正確に再現する能力の育成：高いギア比（レース用）を用いて、単に「速く走る」ではなく目標速度を誤差なく再現することに徹底してこだわる（de Koning et al., 1999）。まずは、目標速度を確実に維持できる距離を走行する。強度を高める際でも常に目標速度を基準に走行距離を延長したり、セット間のリカバリーを短縮するなどして負荷調整することで、速度再現性の効果を損なわずに強度を高めることが可能である。最終的には4 kmを維持できることを目指す。

(3) コミュニケーションの基盤整備

⑥非言語的プロトコルの確立：口頭による情報伝達に依存せず、騒音下でも機能するハンドサイン等の視覚的合図を事前に確立し、情報の不確実性を排除する。

⑦実践知の体系的共有：競技者と指導者間において、大会後の振り返りを定例化し、個人の経験とデータを組織の資産として言語化および蓄積する仕組みを整える。

これらの知見は、単なる戦術の提示に留まらず、学生トップレベルのチームの指導から導き出された戦略的・指導上の実践知であり、4 kmTPにおける集団の遂行能力を担保するための組織的マネジメントの指針となるものである。

本研究の限界として、ラップタイムの分析に手動計時データを用いている点が挙げられる。指導者の心理的状況等による計測誤差の混入を考慮し、本研究では記録値を1/10秒単位として扱うことで一定の信頼性を担保したが、今後はより精緻な分析のために、公式の電子計時データや高精度な映像解析の活用が望まれる。

参考文献

- 1) Ayalon, A., Inbar, O., Bar-Or, O. (1974) Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power. *Biomechanics IV*, 1(1): 572-577.
- 2) Barry, N., Burton, D., Sheridan, J., Thompson, M., Brown, N. A. T. (2015) Aerodynamic drag interactions between cyclists in a team pursuit. *Sports Engineering*, 18(2): 93-103.
- 3) Castañeda-Babarro, A., Irurtia, A., Rodríguez-Negro, J., Sanz-Arigita, E. (2021) The Wingate Anaerobic Test : A narrative review of the protocol variables that affect the results obtained. *Applied Sciences*, 11(16): 7417.
- 4) de Koning, J. J., Bobbert, M. F., Foster, C. (1999) Determination of the optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3): 266-277.
- 5) 淵本隆文, 形本静夫, 小林裕幸 (2000) 250mトラックにおける自転車走行中のパワーと速度変化. 平成11年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集, 2(23): 143-151.
- 6) 淵本隆文 (2004) 自転車競技における短距離選手の走行速度とパワー. *日本バイメカニクス学会*, 8: 52-55.
- 7) 橋本直, 黒川剛, 山本正嘉 (2018) 自転車競技4 km チームパシュートにおいて交代局面での交代ミスを防ぐための方策の検討. *スポーツパフォーマンス研究*, 10: 297-310.
- 8) 日本自転車競技連盟 (online) 記録集. <https://jicf.info/kiroku/> (2025年10月1日閲覧).
- 9) 日本自転車競技連盟 (online) UCI 競技規則【Part 3 トラックレース】の更新. <https://jcf.or.jp/news-81734> (2025年11月17日閲覧).
- 10) 日本陸上競技連盟 (online) 競技規則第3部トラック競技. <https://www.jaaf.or.jp/athlete/rule/pdf/15.pdf> (2025年11月17日閲覧).
- 11) 太田洋一, 高嶋渉, 池田祐介, 貴嶋孝太, 村田正洋 (2011) 自転車競技 (200mFTT, 250mTT, 500mTT, 1 kmTT, 4 kmTT) における記録とレース中の速度変化特性, クランク回転数変化特性およびギア比との関係. *トレーニング科学*, 23(2): 177-195.
- 12) 山口大貴, 黒川剛, 荒木就平, 金高宏文 (2015) 自転車競技短距離種目において競技開始1年半で全国入賞した男子大学生の取り組み事例の分析; 自転車競技短距離種目の導入初期発達段階における技術戦術的トレーニングのポイントを探る. *スポーツパフォーマンス研究*, 7: 300-319.
- 13) 山口大貴, 石井泰光 (2025) 全日本大学対抗選手権自転車競技大会のトラック競技の計測種目における2010年から2023年の記録変遷に関する研究. *山陰体育学研究*, 40: 12-24.

(令和7年10月24日受付)
(令和8年2月26日受理)