

円盤投げの動作時間と投てき記録との関係

田内健二¹⁾ 磯繁雄¹⁾ 持田尚²⁾ 杉田正明³⁾ 阿江通良⁴⁾
1) 早稲田大学スポーツ科学学術院 2) (財)横浜市スポーツ医科学センター
3) 三重大学教育学部 4) 筑波大学体育科学系

Relationships between the duration times of the motion phases and the record in the discus

Kenji Tauchi¹⁾ Shigeo Iso¹⁾ Takashi Mochida²⁾ Sugita Masaaki³⁾ Michiyoshi Ae⁴⁾
1) Faculty of Sport Sciences, Waseda University
2) Yokohama sports medical center
3) Faculty of Education, Mie University
4) Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationships between the duration time of the motion phases and the record in discus throw. Sixty-nine male discus throwers, divided into three groups (Good, Middle, Poor) based on throwing record, were analyzed for the time taken to release the discus from the start of the first turn. The motion of the discus throw was divided five phases: double support phase (P1), single support phase by left foot (P2), nonsupport phase (P3), single support phase by right foot (P4) and delivery phase (P5). In the results of all groups, there were significant negative correlations between the duration times of P1, P4 and P5 and throwing record. We found the significant negative correlations between the duration time of P5 and throwing record in the Good group, the duration time of P1 and throwing record in the Middle group and the duration time of P4 and throwing record in the Poor group. The results indicate that the higher motion speed from the beginning of the first turn to the release is prerequisite for higher performance, but the most important motion phase differs between the performance levels of the athletes.

I. 緒言

円盤投げは、投てき方向とは反対向き立った姿勢からスイング動作を開始し、1回転半のターン動作の後に円盤を投げ出す投法が一般的である。

これまでの円盤投げに関する研究は、円盤のリリースパラメータ（植屋ら、1994；Hay and Yu, 1995）、キネマティクス（宮西ら、1997）およびキネティクス（秋葉ら、1991；Dapena, 1993；宮西ら、1998；松尾と湯浅、2005）について検討したものがあ。キネティクスに関しては、円盤投げ動作の特徴から、円盤および身体の角運動量に着目したものがあ。Dapena（1993）は、円盤の水平スピード増大のためには、ターン動作開始時における

鉛直軸回りの正の角運動量の大きさが極めて重要であることを報告している。秋葉ら（1991）、宮西ら（1998）は、身体の角運動量の時系列変化から、円盤を加速するメカニズムは様ではなく、それぞれ角運動量の伝達方向あるいは動作速度の高低の観点から、大きく2つのタイプに分けられることを報告している。また、松尾と湯浅は（2005）は、円盤のリリース速度には身体の角運動量に加えて並進方向への移動速度も重要であることを報告している。以上のことから、円盤投げにおいては、身体の回転運動あるいは並進運動をより速く行うことにより、円盤に加える運動エネルギーをできる限り大きくすることが重要であるが、そのための動作は身体特性や体力特性などの影響により非常に個人差が大きいこ

とが推察される。

一方、実際のトレーニング現場においては、最終的な円盤のリリース速度を高めるために、選手・コーチが日々試行錯誤を繰り返しながら動作技術の改善を試みている。例えば、最初のターンへの導入を速くしたり、リリース前の右足支持から左足接地までのタイミングを速くしたりすることなどがあげられる。理想的には、このような試みが、上述の先行研究で示された速度や角運動量からみた場合にどのように評価できるのかを即時的にフィードバックされることが望ましい。しかし、実際のトレーニング現場においては、力学的パラメータを即時に算出することは困難である。そこで、最も簡便に動作をモニターできるものとして動作時間があげられる。つまり、一連の円盤投げの動作は大きく、ターンへの導入、ファーストターン、セカンドターン（デリバリー）の各動作に分けられるが、それらの動作時間の長短によって技術を評価するということである。円盤投げの動作時間については、多くの先行研究が示している（植屋ら、1994；宮西ら、1997；Bartlett, 1992）。しかし、被験者が少ないこと、あるいは高い競技レベルではほぼ等質集団であるとみなせることなどから、動作時間の長短が円盤の投てき記録にどの程度影響を及ぼしているかについては明確にされていない。トレーニング現場だけでなく競技会においてもモニターが可能な動作時間が、投てき記録に対してどの程度影響を及ぼす要因であるのかを把握することは、円盤投げの技術指導のために役立つものと考えられる。

そこで本研究は、広範な競技レベルを有した多くの円盤投げ選手を対象として、円盤投げの動作時間と投てき記録との関係を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 分析対象

分析対象は、2006年に開催された第54回兵庫リレーカーニバル、第85回関東学生陸上競技対抗選手権大会1部および2部、第90回日本陸上競技選手権大会、および第15回アジア大会（ドーハ）において男子円盤投げに出場した選手69名であった。なお、複数の試合に出場した選手については、最も良い投てき記録であった試合のみを採用した。

本研究では、競技レベルごとに分析を行うために、投てき記録の上位から23名ずつ3群に分け、順にGood群（平均値±標準偏差：53.84±4.77m；範

囲：47.79m–63.79m）、Middle群（42.90±3.20m；38.00m–47.37m）、Poor群（32.72±2.94m；28.06m–37.73m）とした。なお、グループの分け方については議論の余地があるが、記録の優劣を判断する基準を決めることは非常に困難である。したがって、本研究では便宜的に対象者を3等分することによってグループを分けた。その結果、各グループの競技レベルは、おおよそGood群は日本ランキング20位以上（世界レベルの選手も含む）、Poor群は日本ランキング120位以下、Middle群はその中間位に相当するものであった。

2. データ収集および分析

各試合における円盤投げの試技を、サークルの後方から1台のデジタルビデオカメラ（DCR-VX2000, Sony）を用いて撮影した（撮影スピード：毎秒60フィールド、シャッタースピード：1/1000秒）。分析試技は、各選手が参加した試合において最も良い投てき記録であった試技とした。

分析を行うにあたり、宮西ら（1997）の報告をもとに一連の投てき動作に対して、ターンへの導入開始時（Start）、右足離地（R-off）、左足離地（L-off）、右足接地（R-on）、左足接地（L-on）および円盤のリリース時点（Release）のイベントを設定し、startからR-offをダブルサポート局面（P1：ターンへの導入動作）、R-offからL-offを左足によるシングルサポート局面（P2：ターン動作）、L-offからR-onをノンサポート局面（P3：空中動作）、R-onからL-onを右足によるシングルサポート局面（P4：回転から投げ出しへの移行動作）、L-onからReleaseをデリバリー局面（P5：投げ出し動作）とした（図1）。

撮影された映像をPCに取り込み、取り込まれた映像を動作解析ソフト（Frame - DIAS II, ディケイ

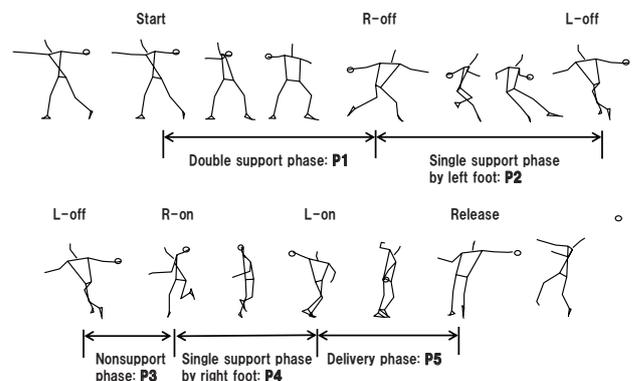


Figure1 Definition of phases in the discus throw

Table1 Results of throwing record and duration times in discus throw for all subjects.

	n	Record (m)	Time (s)					
			Total	P1	P2	P3	P4	P5
All	69	43.15±9.43	1.61±0.23	0.74±0.20 (45.5±5.9%)	0.37±0.04 (23.3±3.1%)	0.09±0.03 (5.8± 2.1%)	0.19±0.03 (11.8± 2.3%)	0.22±0.04 (13.5± 2.5%)

The values in parenthesis are percentage for total time.

Table2 Results of throwing record and duration times in discus throw for each group.

			Total	P1	P2	P3	P4	P5
Good	23	53.84±4.77	1.48±0.18	0.65±0.15 (46.4±6.4%)	0.36±0.03 (22.3±2.9%)	0.10±0.03 (5.7±2.1%)	0.17±0.03 (12.2±2.8%)	0.20±0.03 (13.5±2.6%)
Middle	23	42.90±3.20	1.67±0.22	0.80±0.19 (46.9±5.7%)	0.37±0.05 (22.6±2.7%)	0.09±0.03 (5.3±1.9%)	0.19±0.04 (11.5±1.8%)	0.23±0.04 (13.7±3.0%)
Poor	23	32.72±2.94	1.68±0.25	0.79±0.22 (43.3±5.0%)	0.37±0.05 (25.0±3.1%)	0.09±0.03 (6.5±2.2%)	0.20±0.04 (11.8±2.4%)	0.22±0.04 (13.4±1.8%)
Difference	G > M > P		G < M, P	G < M, P	ns	ns	G < P	G < M

The values in parenthesis are percentage for total time.

> : significant difference at p<0.05.

エイチ) を用いて、各イベント間のコマ数(毎秒60フィールド)を読み取ることにより、各局面の動作時間を算出した。また、StartからReleaseまでの時間をTotalの動作時間とした。

記録と各局面の動作間との相関係数はPearsonの方法を用いて算出した。

III. 結果

3. 統計処理

各算出項目を平均値±標準偏差で示した。Good群、Middle群、Poor群の3群間の有意差検定には、一元配置の分散分析を用いF値が有意であった項目には、Scheffe法を用いて多重比較を行った。投てき

表1に、全ての選手における投てき記録および各局面の動作時間を示した。各局面の動作時間は、P1 が0.74±0.20秒と最も長く、P3 が0.09±0.03秒と最も短かった。Totalの動作時間に対する各局面の動作時間の割合は、P1 からP5 まで順に45.5%、

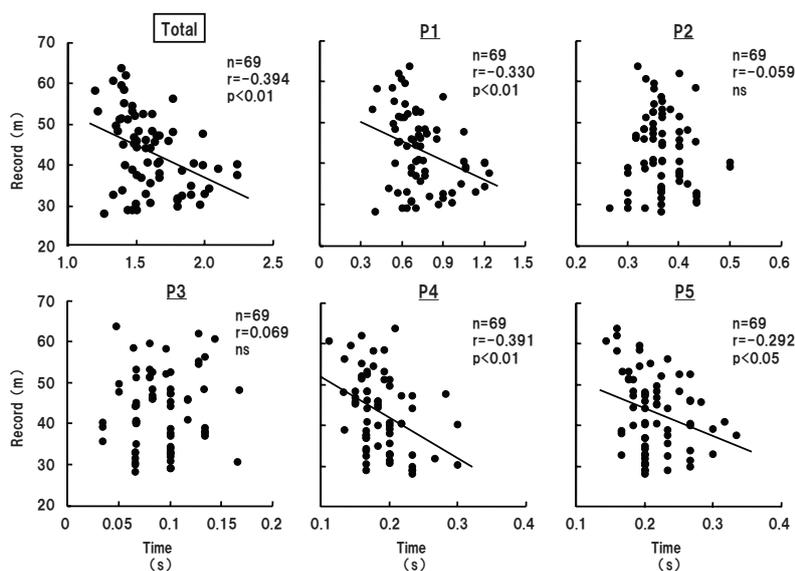


Figure2 Relationships between duration time in each phase and throwing record in discus throw for all subjects.

23.2%, 5.8%, 11.8%および13.6%であった。

図2に、全ての選手における各局面の動作時間と投てき記録との関係を示した。Total, P1, P4 およびP5の動作時間と投てき記録との間に有意な負の相関関係が認められた。

表2に、各グループにおける投てき記録および各局面の動作時間を示した。投てき記録はGood群がMiddle群およびPoor群と比較して、またMiddle群がPoor群と比較して有意に高値を示した。TotalおよびP1の動作時間はGood群が他の2群と比較して有意に低値を示した。P4の動作時間はGood群がPoor群と比較して、またP5の動作時間はGood群がMiddle群と比較して有意に低値を示した。

図3に、各グループにおける各局面の動作時間と投てき記録との関係を示した。Totalの動作時間では、Good群およびMiddle群において投てき記録との間に有意な負の相関関係が認められた。P1の動作時間ではMiddle群においてのみ、P4の動作時間ではPoor群においてのみ、P5の動作時間ではGood群においてのみ、投てき記録との間にそれぞれ有意な負の相関関係が認められた。

IV. 考察

本研究では、一連の円盤投げにおける動作時間が、投てき記録に対してどの程度影響を及ぼす要因であるのかを明らかにするために、円盤投げの初心者レベルから世界レベルまでの広範囲な競技レベルを有する選手を対象にして、動作時間と投てき記録との関係を検討した。本研究では両者の関係につい

て、はじめに全選手でみた場合について考察し、次に競技レベルをもとにして分けたグループ別にみた場合について考察することにする。

1. 全選手でみた場合

本研究における円盤投げのトータル動作時間は平均で1.61秒であり、各局面の動作時間はP1とP2がトータル時間の68.8% (1.11±0.22秒) を占め、P3が5.8% (0.09±0.03秒)、P4とP5が25.3% (0.41±0.05秒) であった(表1)。このようなパターンはいずれの先行研究においてもほぼ同様であった。これらの動作時間と投てき記録との関係を検討した結果、トータルの動作時間において有意な負の相関関係が認められた(図2, 上段左)。このことは、一連の動作速度を速くすることが投てき記録を向上させる1つの要因であることを示唆するものである。仮に、すべての選手の回転半径が同じである(実際にはより高い競技レベルの者ほど回転半径が長いと推察される)とすると、一回転半のターン動作による円盤の移動距離は同じとなることから、その移動距離の所要時間が短ければ円盤の平均速度は高くなる。初心者レベルから世界レベルの選手までを対象とした場合には、このような単純な理論が当てはまるということであろう。

各局面の動作時間と投てき記録との関係をみると、P1の動作時間と投てき記録との間に有意な負の相関関係が認められた(図2, 上段中)。Dapena (1993)は、全身-円盤系の鉛直軸回りの正の角運動量が両足支持局面から左足支持局面前半において増大して最大となり、その後の局面ではほとんど変

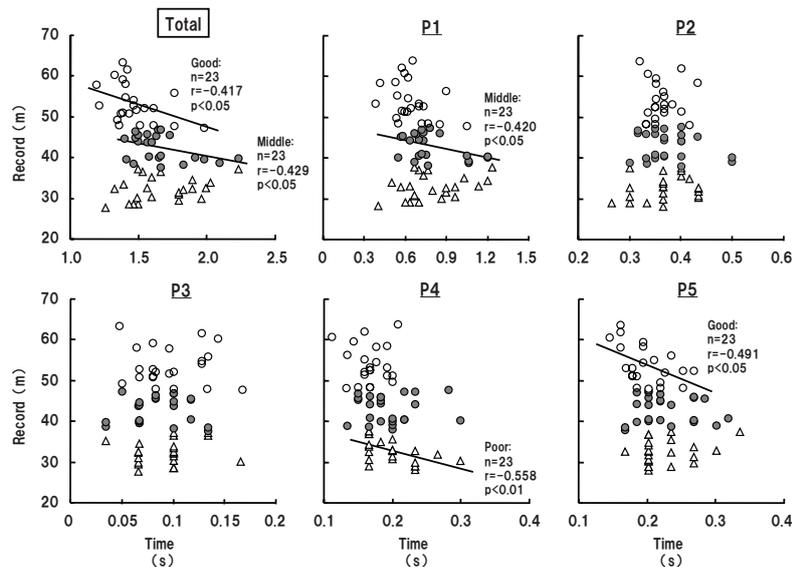


Figure3 Relationships between duration time in each phase and throwing record in discus throw for each group (○: Good, ●: Middle, △: Poor).

化しないことから、円盤の水平スピード増大のためには、ターン動作開始時における鉛直軸回りの正の角運動量を大きくすることが重要であることを強調している。P1におけるターンへの導入動作を速く行うことは、結果的に鉛直軸回りの正の角運動量を大きくすることにつながると考えられることから、本研究の結果はこの意見を支持するものと考えられる。しかしながら、宮西ら(1998)は、アジア一流円盤投げ選手を対象とした分析では、必ずしもDapena(1993)の意見が正しいとは限らないことを具体的に指摘している。このような意見の不一致の原因の1つには、宮西ら(1998)の分析対象の投てき記録の平均値(±SD)が $56.44 \pm 1.84\text{m}$ と非常に高く、ほぼ等質集団であったことが考えられる。つまり、高い競技レベルの中では、初期段階の角運動量の大きさだけでなく、リリースに近いより後半の動作によって記録の優劣が決まるということである。したがって本研究の結果を考慮すると、初心者レベルから世界レベルまでを対象としてみた場合、ターンへの導入動作を速く行い初期段階で大きな角運動量を得ることは、投てき記録向上のための必要条件であると考えられる。

また、P4およびP5の動作時間と投てき記録との間にも有意な負の相関関係が認められた(図2, 下段中, 右)。P4はターン動作から投げ出し動作への移行局面である。田内ら(2005)は、砲丸投げのグライド動作においても、グライド動作から突き出し動作までの移行局面を短くすることが、投てき記録の向上のために重要であると報告している。彼らは、このことについて「砲丸を突き出す距離をできる限り長く確保するための役割を果たしている」と述べている。本研究においても、砲丸投げとは動作が大きく異なるが、つづくP5において円盤の加速距離を長く確保するために、右足支持からの左足接地の動作を素早く行うことが重要であることを示していると考えられる。P5については円盤が最も加速される局面である(Bartlett, 1992)。P4終了時点の円盤の位置からリリース位置までの加速距離をより短時間で振りきり、円盤をリリースさせることは、より高いリリース速度を生むことにつながることを反映した結果であると考えられる。

なお、統計的に有意であっても動作時間と投てき記録との相関係数は低く、同じ動作時間でも投てき記録のばらつきが非常に大きいことから、動作時間のみが投てき記録に及ぼす影響はそれほど大きくないことは認識しておかなければならない。投てき記録には、同じ動作時間内で起こる動作技術および体

力要因の優劣が大きく影響しているものと考えられる。したがって、今後は、本研究の結果を基礎的な知識としてもちながら、キネマティクスおよびキネティクスの分析を進める必要がある。

2. 競技レベル別でみた場合

ここまでは、全選手でみた動作時間と投てき記録との関係について考察を進めてきたが、競技レベルが異なることによってパフォーマンス向上のために要求される技術が異なることは十分に考えられる。そこで、本研究では全選手を記録順に3つに群分けし、動作時間と投てき記録との関係を検討することとした。その結果、全選手でみた場合とは若干異なる様相を示した。トータルの動作時間と投てき記録との関係では、Good群とMiddle群において有意な負の相関関係が認められたが、Poor群においては有意な相関関係は認められなかった(図3上段左)。このことは、上述した一連の動作時間を速くすることが競技成績を高めるために重要であるという示唆は、ある程度円盤投げの技術に習熟し、専門的な体力を獲得している選手に対してよく当てはまることを示している。

P1の動作時間と投てき記録との関係では、Middle群においてのみ有意な負の相関関係が認められた(図3上段中)。このことは、全選手でみた場合に述べたターン動作の開始時点の角運動量を高めることが重要であるという指摘は、特にMiddle群においてよく当てはまることを示唆している。一方、Good群においては有意な相関関係は認められなかった。上述にはDapena(1993)と宮西ら(1998)の意見の不一致には、競技レベルが高く等質集団を対象にしていることが原因の1つであると指摘した。Good群における結果は、この指摘を支持するものであると考えられる。また、Poor群においても有意な相関関係は認められず、さらに全選手でみた場合とは逆の正の相関関係を示す傾向が認められた($r=0.346, p=0.10$)。Dapena(1993)は、重要な注意点として、円盤の初心者はターンの初期段階に角運動量を高めるよりも、全体の動作をコントロールすること強調すべきであると述べている。このことと本研究の結果を考慮すると、初心者レベルの場合は、後半の動作をより適切に行えるように、ターンの導入動作をゆっくり行うことが必要になるものと考えられる。

P4の動作時間と投てき記録との関係ではPoor群においてのみ、P5の動作時間との投てき記録との関係ではGood群においてのみ、それぞれ有意な負の

相関関係が認められた（図3下段中，右）．これらのことは，全選手でみた場合に述べたデリバリー局面における円盤の加速距離を長く確保することについてはPoor群，素早い振りきりを行うことについてはGood群によく当てはまることを示している．特に，Good群については，P1からP5までの動作時間が他の2群と比較して有意に短いこと（表2）を考慮すると，最終的に素早い振りきりができるための適切な準備動作を，より速い動作速度の中で達成しなければならないのであろう．

日本における円盤投げの競技レベルは，いまだ世界レベルには遠く及ばないのが現状である．本研究の結果は，非常に大まかな技術の特徴を述べているに過ぎないが，少しでも競技レベルの向上に役立てられるように，今後の研究の基礎として活用していく必要がある．

V. 要約

本研究の目的は，円盤投げにおける動作時間と投てき記録との関係を明らかにすることであった．69名の男性円盤投げ選手（投てき記録の平均値±SD：43.15±9.43m，範囲：28.06–63.79m）を対象にして，各種競技会における円盤投げ動作をデジタルビデオカメラ（毎秒60コマ）を用いて撮影した．本研究では，一連の円盤投げ動作をダブルサポート局面（P1），左足によるシングルサポート局面（P2），ノンサポート局面（P3），右足によるシングルサポート局面（P4）およびデリバリー局面（P5）に分け，それぞれの局面の所要時間（動作時間）を算出した．なお，本研究では全選手でみた場合に加えて，競技レベル別にみた場合の検討を行うために，選手を投てき記録の上位から23名ずつ3群に分け，順にGood群（平均値±標準偏差：53.84±4.77m；範囲：47.79m–63.79m），Middle群（42.90±3.20m；38.00m–47.37m），Poor群（32.72±2.94m；28.06m–37.73m）とした．主な結果は次のようである：全選手で見た場合，P1，P4 およびP5 の動作時間と投てき記録との間に有意な負の相関関係が認められた．競技レベル別にみた場合，Good群においてはP5の動作時間と投てき記録との間，Middle群においてはP1 の動作時間と投てき記録との間，Poor群においてはP4の動作時間と投てき記録との間に，それぞれ有意な負の相関関係が認められた．これら結果は，競技成績を高めるためには，大きくは一連の円盤投げ動作を速く行うことが必要であるが，特に重要とされる動作局面は競

技レベルごとに異なることを示唆するものである．

付記

本研究のデータの一部は，日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班による活動，および日本オリンピック委員会／日本コカ・コーラススポーツ科学基金（アクエリアス基金）の研究助成による活動によって得られたものである．

参考文献

- 秋葉卓雄，関智子，阿江通良，西藤宏司，山崎祐司（1991）円盤投のターン様式について．陸上競技紀要，4：2-14.
- Bartlett, R. M. (1992) The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, 10: 467-510.
- Dapena, J. (1993) New insights on discus throwing. *Track technique* 125: 3977-3983.
- Hay, J. G. and Yu, B. (1995) Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13: 125-140.
- 松尾宣隆，湯浅景元（2005）円盤投げ動作における身体重心速度が円盤速度と円盤+投擲者角運動量に及ぼす効果．中京大学体育学論叢，46（2）：33-43.
- 宮西智久，富樫時子，川村卓，桜井伸二，若山章信，岡本敦，只左一也（1997）アジア大会における円盤投げのバイオメカニクスの分析．アジア一流陸上競技者の技術—第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告—．日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス研究班編，佐々木秀幸，小林寛道，阿江通良監修，創文企画，168-181.
- 宮西智久，桜井伸二，若山章信，富樫時子，川村卓（1998）アジア一流選手における円盤投げの角運動量の3次元解析．バイオメカニクス研究，2（1）：10-18.
- 田内健二，持田尚，榎本靖士，阿江通良（2005）女子砲丸投げのグライド投法における世界レベル競技者と日本国内レベルとの相違．陸上競技研究紀要，1：36-44.
- 植屋清見，池上康男，中村和彦，桜井伸二，岡本敦，池川哲史（1994）円盤投げのバイオメカニクスの研究．世界一流競技者の技術—第3回世界陸

上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書
一. 日本陸競技連盟強化本部バイオメカニクス研
究班編, 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良監修,
ベースボール・マガジン社, 257-271.