

# 反復連続的タイミング動作における 動体視力について (2)

石垣尚男・大山慈徳

## On the Kinetic Visual Acuity in Repeated Consecutive Timing Action (2)

Hisao ISHIGAKI Yasunori OHYAMA

タイミング動作の正確性を左右する因子の1つと考えられるものに視対象の移動条件を視覚的に把握する視機能がある。なかでも動体視力の良否はタイミング動作の際重要な条件となる。前報<sup>(1)</sup>においては、視対象が2点間を反復往復移動する際、これを頭部移動をしながら追隨視する場合の動体視力に及ぼす影響について動体視覚成立要因である眼調節作用、瞬間中心視力の相互関係から究明した。本報においては、視対象の連続追隨視条件を頭部固定とし眼球運動のみによる連続追隨視とした場合の動体視力に及ぼす影響について究明し、追隨視条件の相違による動体視覚成立機序に及ぼす影響について考察した。

### 研究目的

本研究はタイミング動作の正確性を求めるための条件追求として行った前報に続くもので、反復連続的タイミング動作におけるタイミング誤差時間に及ぼす条件を頭部固定の眼球運動のみによる追隨視として測定し、視機能の変容実態を究明しようとしたものである。

### 研究方法

動体視標が2点間を反復移動する際の動体視標連続追隨視が視機能に及ぼす影響を究明するため

1. 動体視標明視能力である動体視力に及ぼす影響
  2. 動体視力を左右する因子の1つである網膜光化学反応(瞬間中心視力)に及ぼす影響
- について、追隨視条件を頭部固定をした眼球運動のみによる両眼追隨視とした場合について究明を行った。

#### 1. 測定方法

##### (1) 動体視力の測定

動体視力の測定はAS4 A型動体視力計を用い、以下に示した条件で測定を行った。

視標：白地に黒のランドルト氏環，ラ氏環の大きさは視標が30mで視力1.0に相当するもの，ラ氏環

の切れ目の方向は測定ごとに上下左右の4方向に任意に変えた。

視標移動速度：30km/h (8.3m/sec)

視標移動方向：遠方より近方

視標背面輝度：27Nit

視方法：利き目の偏眼

視標判読反応：電鍵手押動作

測定値：動体視力値は視標が静止している場合の最大視距離に対しどの位低下するかという比率的視標とした。5回測定の平均値を用いた。

$$\text{動体視力指標 (\%)} = \frac{\text{動体最大視距離}}{\text{静止最大視距離}} \times 100$$

##### (2) 瞬間中心視力の測定

視標：ラ氏環（ラ氏環の切れ目は測定ごとに上下左右の4方向に任意に変えた）

視標背面輝度：100Nit

視標瞬間提示装置：自作瞬間露出器使用（シャッター速度1/100sec）

視方法：利き目の偏眼

測定方法：瞬間露出器のシャッターを開放した状態（視距離5m）で判読できるラ氏環を測定し（以下、5m視力という）、次に同一ラ氏

環を1/100secのシャッター速度で提示し、これが判読できる最大視距離を測定した。

測定値：最大視距離を視力換算表にもとづき視力値に置き換え、この値が5m視力に対しどの位低下するか比率的指標として用いた。

$$\text{瞬間中心視力 (\%)} = \frac{1/100\text{sec 視力}}{5\text{m 視力}} \times 100$$

表1 視力換算表

視距離	換 算 視 力 値					
5.00	2.000	1.500	1.200	1.000	0.900	0.800
4.90	1.950	1.467	1.175	0.980	0.883	0.783
4.80	1.900	1.433	1.150	0.960	0.867	0.767
4.70	1.867	1.400	1.125	0.940	0.850	0.750
4.60	1.833	1.375	1.100	0.920	0.833	0.733
4.50	1.800	1.350	1.075	0.900	0.817	0.717
4.40	1.750	1.325	1.050	0.880	0.800	0.700
4.30	1.700	1.300	1.025	0.860	0.780	0.683
4.20	1.667	1.267	1.000	0.840	0.760	0.667
4.10	1.633	1.233	0.975	0.820	0.740	0.650
4.00	1.600	1.200	0.950	0.800	0.720	0.633
3.90	1.550	1.167	0.925	0.780	0.700	0.617
3.80	1.500	1.133	0.900	0.760	0.683	0.600
3.70	1.467	1.100	0.880	0.740	0.667	0.586
3.60	1.433	1.075	0.860	0.720	0.650	0.571
3.50	1.400	1.050	0.840	0.700	0.633	0.557
3.40	1.350	1.025	0.820	0.680	0.617	0.543
3.30	1.300	1.000	0.800	0.660	0.600	0.529
3.20	1.267	0.967	0.775	0.640	0.580	0.514
3.10	1.233	0.933	0.750	0.620	0.560	0.500
3.00	1.200	0.900	0.725	0.600	0.540	0.486

2. 反復連続往復運動視標提示条件

1) 動体視標

- (1) スクリーン投影の白色円形スポット

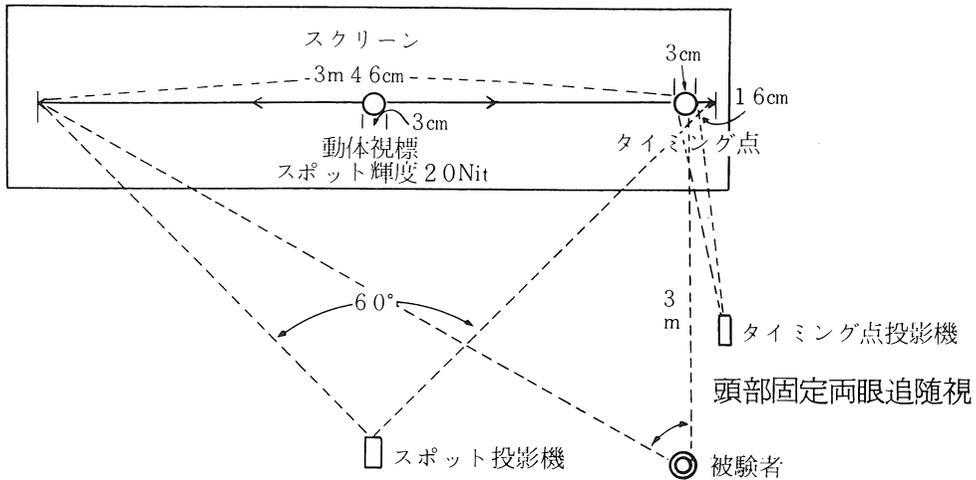


図1 反復連続往復運動視標提示条件

(直径3cm, 輝度20Nit)

- (2) 移動速度 3m/sec

- (3) 移動は左右巾3.46m間水平往復移動, 被験者眼と同等

2) タイミング点

- (1) 位置, 視標右折返点内方16cm

- (2) 直径3cm白色円形スポット, 輝度20Nit

- (3) 被験者はスクリーンタイミング点直前方3mに位置し, 頭部固定機(竹井K.K製)で第1眼位でタイミング点を注視できる顔面方向に固定し両眼で動体視標を中心視する眼球追従視運動を行った。

3. 測定の順序

測定は照度2Lxの準暗室内で30分間眼の順応を行った後, 図2の順序で測定した。

4. 被験者

眼疾患のない大学男子運動部員15名で, 被験者は前報と異なったものを対象としている。

結果と考察

1. 動体視力について

動体視力が2点間を反復往復移動する際, これを頭部固定して眼球運動のみで追従視する経過に伴う動体視力の変容を他の視機能との相互関係から究明し, 前報での頭部移動を含む追従視条件における変容過程と比較検討してみる。

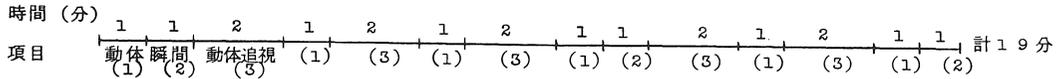


図2 測定 の 順序

表2 動体視力測定結果

Sub	追隨視前	追隨視1回目	追隨視2回目	追隨視3回目	追隨視4回目	追隨視5回目
1	87.9	46.2	44.1	75.0	89.0	45.7
2	75.9	69.6	63.9	72.6	71.2	79.0
3	70.1	58.5	53.1	61.8	69.9	70.5
4	51.6	46.5	59.8	58.5	81.0	91.4
5	48.1	49.6	49.6	59.2	56.6	51.9
6	55.9	52.5	47.7	51.4	48.9	51.8
7	65.8	60.3	59.9	54.3	60.4	63.3
8	49.5	62.2	63.7	62.8	63.3	65.6
9	63.2	60.8	50.7	56.3	57.7	62.4
10	51.3	75.3	56.8	63.8	55.0	77.0
11	92.4	67.3	66.1	65.2	69.6	78.2
12	51.5	45.0	32.0	51.2	50.4	51.2
13	58.5	54.5	59.0	62.1	61.8	63.1
14	57.2	63.0	58.1	43.9	59.3	50.9
15	82.4	55.0	53.8	67.2	66.2	58.9
X	64.1	57.8	54.6	60.4	63.9	64.0
SD	14.1	8.7	8.6	8.0	10.6	12.6

表2に動体視標追隨視前及び追隨視の経過に伴う動体視力の測定結果を示した。表2にみられるように2Luxの準暗室内における30分間の眼の順応後、動体視標追隨視前における動体視力平均値は静止視力の64%である。一般に動体視力は静止視力より低下するが、この低下に関する視機能及びその低下率は一様ではなく幅広い個人差が認められる。本報においてもこの分布幅は静止視力比の48.1%~92.4%の範囲にあり、ここでも動体視覚成立過程に幅広い個人差のあることが認められた。

次に追隨視の経過に伴う動体視力平均値の変化をみてみよう。図3に示したように追隨視1回目(動体視標追隨視2分)で急激に低下し(6.3%),2回目(4分)において最低となり追隨視前と比較して約10%の低下を示している。3回目(6分)以後回復の経過をたどり、4回目(8分)で追隨視前とほぼ同様の値を示すが、最終回(10分)の測定においても追隨視前の視力を上廻っていない。このように頭部固定をした眼球運動のみによ

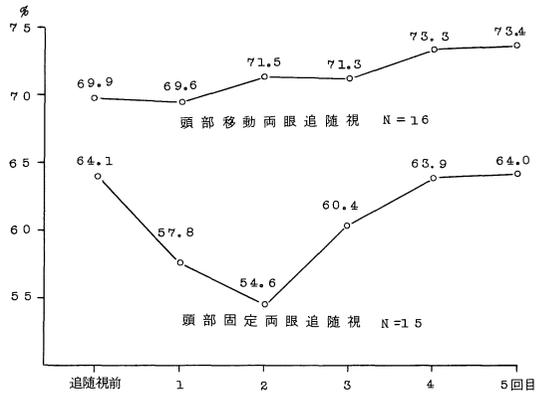


図3 動体視力の変化

表3 動体視力分散分析表

変動因	平方和	自由度	平均平方	F
処理	1198.7	5	239.7	2.84 5%
個体	4334.5	14	309.6	3.67 1%
残差	5911.3	70	84.4	
全体	11444.5	89		

る追隨視においては動体視力は一過性の視力低下を示した。統計的にみた場合、この視力低下は5%水準で有意であった。

2. 瞬間中心視力について

動体視標追隨視の経過に伴う瞬間中心視力の測定結果を表5に示し、平均値の変化を図4に示した。瞬間中心視力の低下は網膜、視覚伝導路、中枢系の作用機序に起因すると考えられるが、本実験条件における視力低下には網膜の作用機序の及ぼす影響が大きいと考えられる。すなわち、ラ氏環提示時間を1/100secに制限した場合、網膜の視細胞が外界の光をうけて光化学反応を起す際、外界の光エネルギーが提示時間の短縮により制限されると神経の刺激興奮エネルギーへの転換が不十分となり鮮明な視覚が得られなくなることによって考えられる。図4に示したように瞬間中心視力は眼球運動のみによる追

随視においても頭部移動を含む追随視と同様のパターンすなわち追随視3回目に急激に低下し、5回目(10分)でやや低下するという有意(1%)な視力低下を示した。追随視前においてシャッターを開放した5m視力に対してすべての被験者に視力低下がみられた。5m視力に対する割合は平均44%であり、前報における被験者平均56%より劣っている。視力低下を被験者個々人からみると幅広い個人差があり、その分布幅は28.6%~56.0%の範囲にある。前報における被験者の平均値と比較すると、いずれの回においても約10%程度劣っているが、このことは追随視において12%の有意(1%)な差があることから被験者群間による差と考えられる。瞬間中心視力の低下率は追随視前→3回目(8.8%), 3回目→5回目(3.4%), 追随視前→5回目(11.8%)であり、前報における低下率それぞれ12.3%, 2%, 14.0%とほぼ同様であることから頭部固定をした眼球運動のみによる追随視によって網膜機能は頭部移動の場合と同様の影響を受けていると考えられる。

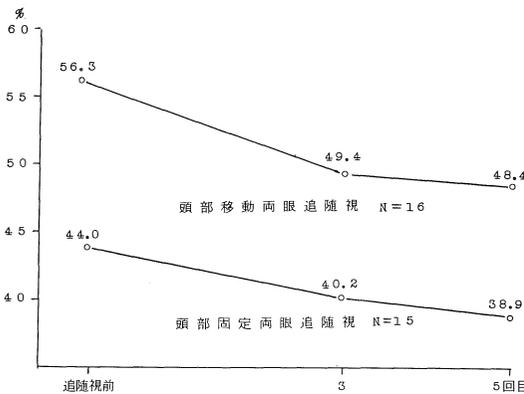


図4 瞬間中心視力の変化

表4 瞬間中心視力分散分析表

変動因	平方和	自由度	平均平方	F
処理	216.8	2	108.4	7.63 1%
個体	1842.9	14	131.6	9.27 1%
残差	397.7	28	14.2	
全体	2457.4	44		

3. 動体視覚成立要因の相互関係について

前報においては連続的に左右移動する動体視標を頭部移動をしながら追随視する経過に伴い動体視力は向上する傾向を示した。この向上傾向は、動体視覚成立要因の変容から動体視標を追随視する際の動体視標注視による

表5 瞬間中心視力測定結果

Sub	追随視前	追随視3回目	追随視5回目
	%	%	%
1	52.6	48.0	48.0
2	45.3	40.0	37.3
3	56.0	37.3	36.0
4	40.0	31.3	30.7
5	42.5	36.0	31.5
6	52.5	45.0	46.3
7	51.7	51.7	44.2
8	46.7	46.7	40.8
9	44.7	46.7	43.3
10	46.7	46.7	45.0
11	38.0	31.3	39.3
12	28.6	27.9	26.4
13	43.3	42.0	42.0
14	31.3	30.7	31.3
15	41.3	42.0	40.7
X	44.0	40.2	38.9
SD	7.4	7.2	6.3

光刺激及び眼球運動のsaccadeな動きが網膜機能には抑制的に(瞬間中心視力の低下)作用したのに対し、眼調節機能には助長的に(眼調節緊張時間の短縮)作用し、これが瞬間中心視力の低下に対して拮抗的に働いたのではないかと、又、比較的自由的な眼球運動及び中枢での作用なども動体視力向上傾向に関与していること、さらに追随視の経過に伴う動体視力の良否を左右する主因として動体視力は眼調節緊張時間との間に相関がみられず瞬間中心視力との間に有意な相関がみられたことから網膜光化学反応のパフォーマンスである瞬間中心視力が主因であると考えたことを報告した。

ここで本測定結果でみられた動体視力が一過性の有意な視力低下を示したことについて検討してみよう。前報の頭部移動を含めた追随視条件では眼調節緊張時間は短縮の傾向を示したが、被験者個々人についてみるとほぼ2対1の割合で短縮と延長の傾向に分けられた。この原因として反復連続的に左右移動する動体視標を追随視する場合、動体視標を網膜傍中心窩で把捉する際の光刺激が及ぼす調節時間の短縮作用と、Saccadic jumpによる網膜周辺部へのちらつき光刺激が及ぼす調節時間延長作用の両面が考えられ、いずれが優位に作用するか

により短縮あるいは延長が生起することによって考えられる。

本測定のように反復連続する動体視標を頭部固定して眼球運動のみで追従視する場合は動体視標をどのように把握しているのであろうか。本研究と実験条件を同じくする山田らの報告<sup>(6)</sup>によると  $3\text{ m/sec}$  の動体視標を追従視する場合は、タイミング点  $1\text{ m}$  からタイミング点までの追従視パターンは頭部移動条件の場合と同様であることを明らかにしている。すなわち 1 回の saccadic jump でタイミング点前方に停留し、網膜傍中心窩で動体視標のタイミング点での適状状況を把握するとしている。左折返点からタイミング点前方  $1\text{ m}$  およびタイミング点通過後から左折返点への追従パターンはアイマーク・カメラの撮影可能な角度を越えるため明らかではないが、眼球運動のみによる追従は Saccadic jump の発現率を増加させるので頭部移動を伴う追従視と比較して滑らかな追従は行なわれていないと考えられる。しかしながら動体視標からの光刺激が眼調節緊張時間に及ぼす影響としては、頭部移動の場合と同様に網膜傍中心窩への露出及び網膜周辺部へのちらつき刺激が考えられることから追従視の経過に伴い眼調節緊張時間は短縮する傾向を示すものと考えられる。眼調節緊張時間は動体視覚成立に主導的役割をはたすが、以上のことから本報において動体視力が一過性の視力低下を示したことの主因として眼調節緊張時間を考えることはできない。そこで瞬間中心視力の側から考察してみよう。

瞬間中心視力が有意な低下を示したことは眼球運動のみによる追従視においても頭部移動による追従視と同様の機序により視力低下が起るものと考えられる。すなわち、動体視標を網膜中心窩で長時間追従視することによる光化学反応の抑制に眼球運動の際おこる Saccadic jump にもとづくちらつき光刺激の抑制が累加するため、網膜視細胞感光物質による光化学的エネルギー転換の際、神経細胞の興奮に抑制的に働き、パフォーマンスとしての瞬間中心視力の低下を導くことによると考えられる。

本報において動体視力が追従視 1 回目、2 回目に有意に低下したことは瞬間中心視力の有意な低下、すなわち網膜の機能減退が原因の 1 つと考えられるが、前報において瞬間中心視力が有意に低下したにもかかわらず動体視力の低下がみられなかったことから動体視力の低下に及ぼす影響は大きなものではないと考えられ、頭部移動を含む追従視条件下では動体視力低下の主因とみなすことはできない。本報において被験者個々人の動体視力の良否が前報と同様に瞬間中心視力の良否によるものであ

るかをみるため両者の相関を求めたがいずれの回においても有意な相関は得られなかった。このことは動体視力の良否を左右するものが他に存在することを示している。

本報のように左右移動する動体視標を眼球運動のみで追従視するという追従視条件においては動体視覚成立要因のうち眼球運動系が動体視力の良否に関与するのではないかと考えられる。本実験条件における眼球追従運動は第 1 眼位から左注視野限界に近い視標 (約  $45^\circ$ ) の左折返点を反復往復移動することになり、眼球を第 2 眼位方向に極度に動かすため、すべての被験者の内省報告では眼筋の疼痛などの眼精疲労症状を訴えている。第 1 眼位から第 2 眼位方向への眼球運動は主として両眼外直筋、内直筋の共同運動<sup>(7)</sup> (同側性運動) であるが注視野限界に及ぶ努力的な眼球追従運動であるため追従視の経過に伴い外眼筋の拮抗が失調することが考えられる。この拮抗の失調は動体視力測定の際の視標の明視に重要な固視、特に網膜中心窩で視標を固視する際の固視微動に影響を及ぼすと考えられる。奥瀬によれば、視線を左右  $40^\circ$  へ向転して保持した場合、固視微動のうち原基固視の期間が著しく短縮し、固視領域が拡大し原基固視中にも著しい動揺が見られ、中央へ徐々に復帰しようとする運動と目標に向う速やかな大きな運動とが入り交って認められたことを報告している。固視微動は固視すべき目標の像が固視領域に相当する網膜中心窩からはずれようとするれば反射的に中心窩に呼び戻す機序であり、その存在意義は Riggs や Yarbus らの静止網膜像<sup>(9)</sup> (stabilized retinal image) の実験において  $0.2\text{ sec}$  以上網膜上に静止させると次第に形体覚が失なわれてくることから、像が網膜上を動く時、網膜上の端のところにある視細胞に on-responce, off-responce がくり返され解像力を高めるのに役立つものと考えられている。

本報において追従視 1 回目、2 回目に動体視力が低下したことは急激に行なった注視野限界に及ぶ眼球追従運動の結果、外眼筋の拮抗が失調し固視微動に固視領域の拡大、すなわち視力の良い網膜中心窩をはずれて視線が動揺するため明視が得られにくいのではないかと考えられる。追従視 3 回目以後回復の経過を示したことは 6 分間の眼球追従運動によって外眼筋の順化が起り固視微動が追従視前の状態に回復しはじめることに加えて眼調節緊張時間が短縮することが瞬間中心視力の低下に対して拮抗的に作用したためと考えられ、その結果、4 回目、5 回目とほぼ追従視前の状態に回復したのと考えられる。このように本報における動体視力の一過性の低下は注視野限界に及ぶ眼球追従運動による固視微動の変容が

その主因であると考えられるが、このことを明らかにするために固視微動測定<sup>(10)</sup>を本実験条件に適用する必要を認めるものであるがこの測定に要する時間条件の制約等からみて測定が困難であるため動体視覚成立要因の相互関係から考察するに止めた。

前報及び本報の結果から、反復往復移動する動体視標の視覚的把捉は頭部移動を含む眼球追隨運動がタイミング動作の際重要な条件となる動体視力の明視条件を得るために効果的であるということができよう。このことは動く視対象へのタイミング動作の適合には頭部固定して眼球運動のみで視標を追隨してタイミング動作を行う場合より、頭部移動を含む眼球運動で視標を追隨する場合の方がタイミング誤差時間が少ないというこれまでの研究結果<sup>(11)(12)</sup>を眼生理学的側面からも認めたものであるということが出来る。

### 総括

視対象が2点間を反復往復移動する際の追隨視条件を頭部固定して眼球運動のみによる連続追隨視とした場合の視機能変容の実態、特にタイミング動作の際重要な条件となる動体視力に及ぼす影響について動体視覚成立要因の相互関係から究明した。

研究結果を要約すれば次のとおりである。

- 1) 動体視力は前報と異なり一過性の有意な視力低下を示した。眼調節緊張時間は前報と同様の短縮傾向を示すものと考えられ、瞬間中心視力は前報の同様の有意な視力低下パターンを示した。
- 2) このことから追隨視条件の相違によっても動体視覚成立要因は同様の影響を受けるが動体視力は異なる変容を示すということから追隨視条件の相違は動体視覚成立機序に異なる影響を及ぼすということが考えられる。
- 3) この動体視覚成立機序の相違をただちに明らかにすることは困難であるが、本報において動体視力が一過性に低下したことは注視野限界に及ぶ眼球追隨運動によって外眼筋の拮抗が失調した結果起る固視微動の変容がその主因となっていることが考えられる。
- 4) 反復往復移動する動体視標の視覚的把捉は頭部移動を含む眼球追隨運動が効果的であるということが出来る。このことは動く視対象へのタイミング動作の適合は頭部移動を含む眼球追隨運動においてタイミング誤差時間が少ないというこれまでの研究結果を眼生理学的側面からも認めたものであるということが出来る。

稿を終るにあたり研究について御指導いただいた名古屋大学総合保健体育センター山田久恒教授に心から深甚の謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 石垣尚男：反復連続的タイミング動作における動体他1名 視力について  
愛知工業大学研究報告  
No.11 (1976)
- 2) 鈴木昭弘：動体視力の研究  
5. 動体視力を左右する因子について  
環境医学研究所年報  
Vol. 13 (1962)
- 3) 鈴木昭弘：動体視力の研究  
1) ちらつき光と動体視力について  
環境医学研究所年報  
Vol. 17 (1966)
- 4) 鈴木昭弘：空間視及び動体視における調節機能の動揺と網膜機能との相互関係について  
環境医学研究所年報  
Vol. 22 (1971)
- 5) 鈴木昭弘：周辺視野動刺激の調節機能への影響  
他1名  
環境医学研究所年報  
Vol. 21-1 (1970)
- 6) 山田久恒：反復連続的タイミング動作における眼球他3名 追隨運動について  
日本体育学会第26回大会号  
P410 (1975)
- 7) 生井 浩：生理学大系Ⅵ 感覚の生理学  
医学書院  
P474 (1967)
- 8) 荻原 朗：眼の生理学  
医学書院 P322 (1966)
- 9) 神作 博：感覚・知覚ハンドブック  
誠信書房 P259 (1969)
- 10) Inatomi, M: Simultaneous recording of the bilateral eye movements over a small angle  
Japanese Journal of Ophthalmology  
Vol 17 No.1 P22-29 (1973)
- 11) 山田久恒：追隨視とタイミング  
他4名  
環境医学研究所年報  
Vol 22 (1971)
- 12) 寺田邦昭：タイミング動作における眼球追隨運動の解折  
アカデミア  
Vol 1 81 (1971)