

講演Ⅰ：
読みに関係する視機能・視覚認知



島根県立大学 人間文化学部 保育教育学科
准教授 内山 仁志



【本日の内容】

I. 視機能について

1. 屈折と視力に関すること
2. 調節と輻湊に関すること、
3. 斜視に関すること
4. 眼球運動に関すること
5. 色覚に関すること

II. 視知覚・視覚認知について

1. 低次レベル処理：
2. 中間レベル処理：
3. 高次レベル処理：
4. 視覚情報処理に関する2つの経路

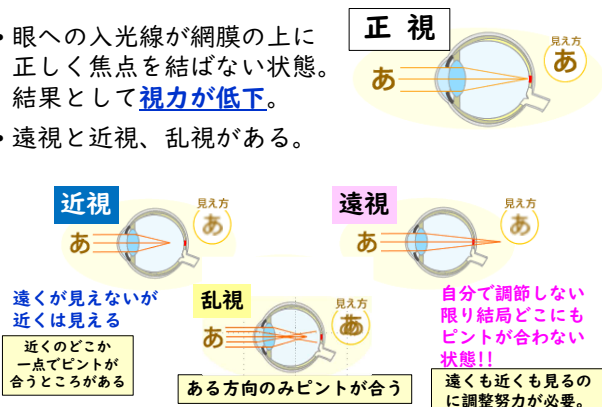
III. 読みにについて

1. 読みの情報処理機構
2. 読み障害と視覚認知に関すること

IV. 考察とまとめ

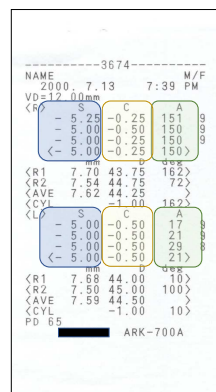
I-1.1) 屈折異常とは

- 眼への入光線が網膜の上に正しく焦点を結ばない状態。結果として**視力が低下**。
- 遠視と近視、乱視がある。



※老視は加齢による調節障害。

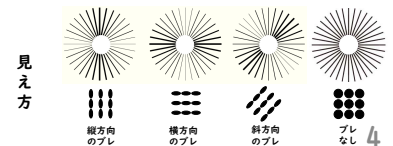
I-1.2) 屈折値



• **S** : 遠視、近視の度数
±3.00[D]以上は注意!
青字のとき**要眼鏡(視力低下)**となることが多い

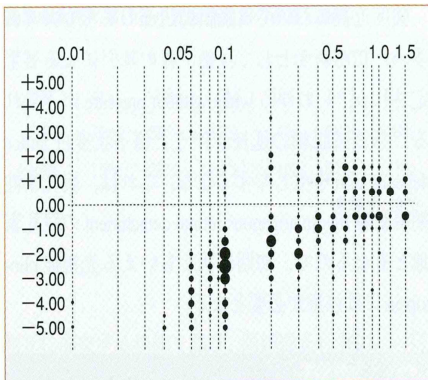
• **C** : 乱視の度数
±1.50[D]以上は注意!

• **A** : 乱視の軸方向
直乱視・倒乱視・斜乱視



I-1.3) 裸眼視力と屈折値の関係

視力と屈折値の関係(目安)
(近視眼)



裸眼視力	レンズ度数[D]
0.6~0.8	-0.50
0.4~0.6	-1.00
0.1~0.2	-2.00
0.04~0.1	-4.00~

※上記は目安であって、実際に視力と屈折値の関係は
・個々人で、日によっても、時間によってもバラツキあり。
屈折値は一定。

(加藤, 1989)

I-1.4) 「読み」ために必要な視力

- 文字の大きさである程度規定される。

印刷物	活字の大きさ	必要な視力	
		かな	漢字
教科書	3号	0.1	0.2
	5号	0.2	0.3
新聞や書籍	9ポイント	0.3	0.4
	8ポイント	0.4	0.4~0.5
辞書	6ポイント	0.5	0.6

- 5mでの視力値が視力の評価の基準となる。
- 基本的に **遠見視力=近見視力**

I-1.5) コントラスト感度と読み

シンボルのない実線：
視覚正常の大学生 40人の平均

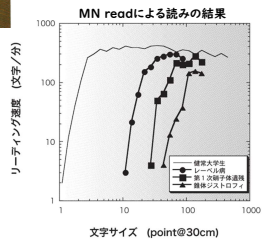


●、■、▲の3本の線：
ロービジョンの個別のケース

⇒文字サイズが一定の 閾値を超えると
読書速度は最大値となり安定する。

(小田, 2008)

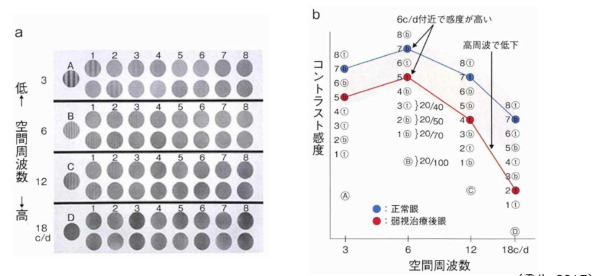
発達性Dyslexia児では読書速度が文字サイズ
に規定されず、**文字サイズを大きくしても**
読書速度は向上しない。 (石井ら, 2013)



低視力者では、形態的な誤読が多い
 (「ぬ」を「ね」と誤読)
⇒発達性Dyslexiaでは意味的誤読が多い
 (「はしる」⇒「はしたた」)

I-1.5) コントラスト感度と読み

・視標の縞の太さ (空間周波数) とコントラストを
変えて行う視機能検査 (視力検査のひとつ)



上と下のどちらに縞が見えるかを答える

・弱視例では治療後 (視力が1.0であっても)
コントラスト感度は正常眼と比べると低い
・白内障でも高周波成分が低下する

I-1.6) 近見視力: 30cmでの視力

- ・視力 + **調節(力)** の検査である。(両眼近見視力@融像の要素もある)
- ・調節に問題があると、**遠見視力≠近見視力**
- ・近見視力が出ていない場合 (遠見視力 > 近見視力)
 - 1) 遠見視力 (5m) の確認
 - 2) 調節力、調節柔軟性の確認
⇒石原式近点計、調節フリッパー



測定時のポイント:
1) 鼻メガネになっていないか、
2) メガネのレンズ越しに見ていないか
⇒必要に応じて、片眼を隠して検査

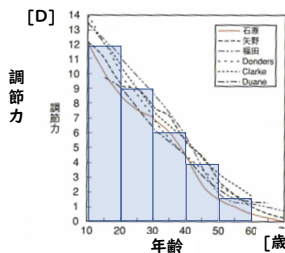


I-2.1) 調節

遠点

近点

- ・ピント合わせのこと。無調節 (リラックスした状態) と極度に調節したときの距離が明視域 (ピントが合う場所)。その範囲外に対象物があると「**ボケる**」。 $100/\text{遠点(cm)} - 100/\text{近点(cm)}$ が調節力。
- ・調節力低下 (老視含む) や調節の柔軟性低下は読書効率を下げる。

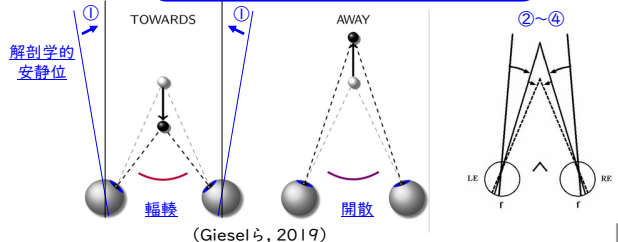


年代	調節限界距離 (cm)	調節力 (D)
10代	8	12~13
20代	12	8~9
30代	20	5~6
40代	30	3~4
50代	67	1~2
60代	200	0~1

I-2.2) 輻湊

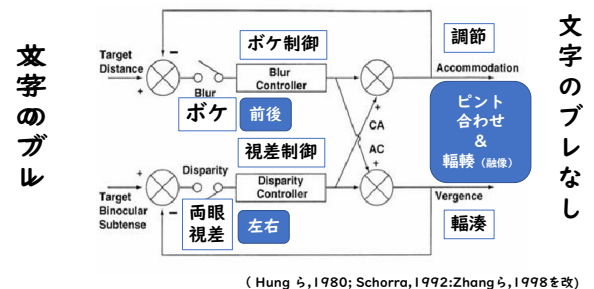
- ・両眼の離反運動のこと。眼前のより近い所を見る時に両眼が内側による運動。外側に離れる運動は開散と呼ぶ。**解剖学的安静位**は外斜。うまく合わせられないと「**ボケる**」(複視)

解剖学的安静位から生理的安静位へ:
①緊張性輻湊
調節努力に伴って生じる輻湊:
②調節性輻湊
両眼網膜像を一致させる:
③融像性輻湊
ものが近づいたと感じて生じる輻湊:
④近接性輻湊

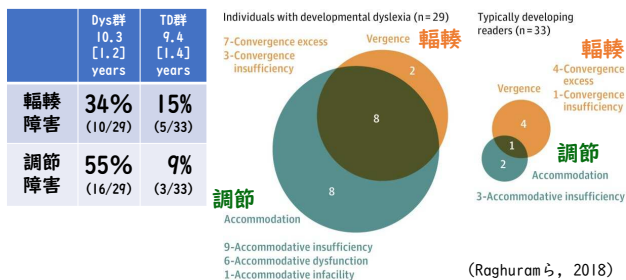


I-2.3) 調節・輻湊と読みの関係

- ・調節が輻湊を、輻湊が調節を制御しつつ、「文字のブレ」を解消する機構がある。



I - 2.4) Dyslexia児の輻輳・調節

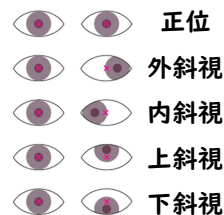


Dyslexia児にvergenceの異常（輻輳障害）がある
 (Jaintaら, 2011)

Dyslexia児の一部は輻輳障害や調節障害を有する場合があります ⇒ 読みにも影響している可能性は高い

I - 3.1) 斜視

片方の目は視線が正しく目標とする方向に向いているが、もう片方の目が内側や外側、あるいは上や下に向いている状態のことをいう。



I - 3.2) 斜視におけるメガネ矯正の大切さ



(山田, 2021)

調節性内斜視：眼鏡をかけるだけでよくなる斜視もある

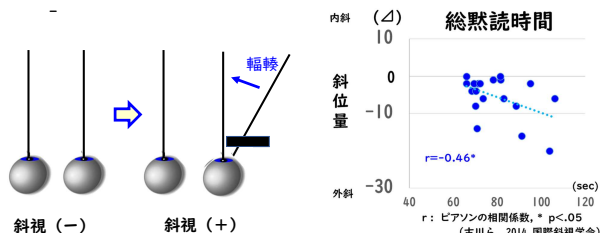
※学校での視力検査はまず、眼鏡での視力から測定する。



I - 3.3) 隠れ斜視 (斜位)と読み

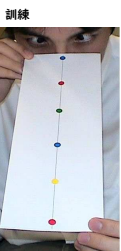
- 片眼を隠すと出てくる斜視がある。
- 自分の意識で視線を目標物に合わせられるが疲れているときや気を抜くと目の位置がずれて斜視となる。約6000万人いるともいわれている。
- 頭痛や肩こりなどの原因になっている
- 読書が困難になる例が多い

⇒両眼を一点に合わせようと頑張っている状態が長く続いたため



I - 3.4) 斜視・斜位に対する対処・治療

- プリズム眼鏡
- 訓練
- 手術



症状は改善

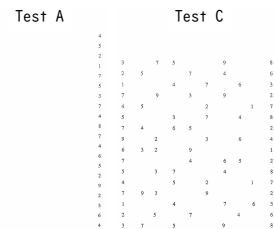
I - 4.1) 眼球運動と読み

眼球運動検査としてのDEM(Developmental Eye Movement) Test

- Test A, B : 縦読み (等間隔)
- Test C : 横読み (間隔不規則)
- 読む数字は A+B=Cという構成
- 音読時間、誤読を記録
- 横読み/縦読みの比を算出
- 発語的要素はキャンセルされる



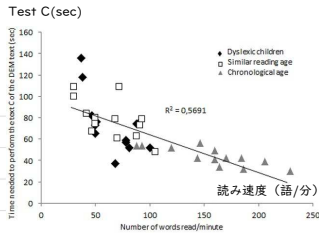
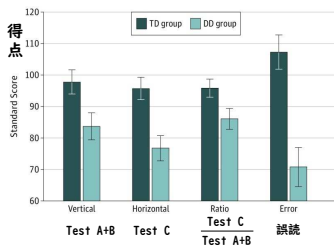
眼球運動の正確性 (眼球運動の追跡精度) を評価



(Moiroud L, 2018)

I-4.2) 眼球運動が本当に悪いのか? -1

Dyslexia児はDEMにて
時間がかかる、誤読も多い。



DEM Test C は1分間あたりの単語
読み速度 (読字効率) と相関

⇒眼球運動の悪さを反映

(Moiroud L, 2018)

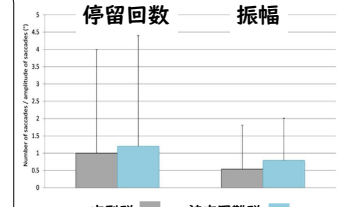
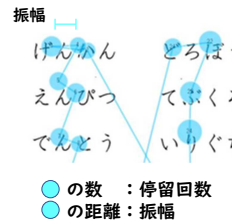
I-4.2) 眼球運動が本当に悪いのか? -2

⇒眼球運動の質 そのものに違いはない!

Saccadeの数 (停留回数)、振幅、速度等に両群で有意差なし

違いがある、と
いう報告もある

用語の示す意味: 停留回数と振幅



※速度の結果は表示していません

(Vinuela-Navarro Vら, 2017)

I-4.3) “眼球運動障害”に対する解釈の違い

	眼球運動障害	意味するもの
ビジョントレーニング分野 (オプトメトリ, OT)	注視し続けられるか、見たいものを効率よく見られているかを意味 ⇒うまく動くか動かないか	・注意障害の有無
眼科分野	不全(軽度)~完全(重度)麻痺を意味。 ⇒動くか動かないか	・筋肉の可動性 (麻痺か否か) ・アンバランス

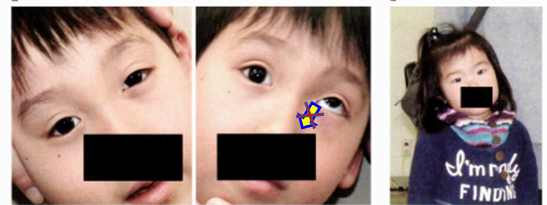
・ビジョントレーニング実施者の評価では「眼球運動が悪い」

「眼球運動障害」と評価されても、眼科で検査すると

「異常なし」ということがしばしば生じる。(特に日本において)

I-4.4) 眼科での眼球運動障害の例

・上斜筋麻痺



(古森, 2016)

a: 頭部を健側(右)へ傾斜させると斜視は目立たない(斜位を保てる)
患側(左)へ傾斜すると斜視が強く顕性化する。

b: 普段は頭部を健側(右)へ傾斜する異常頭位をとる。

この例では、仮に頭の位置をまっすぐにすると、斜視が出現。

「姿勢をよくして読み書きしましょう」が仇(あだ)になることも!

I-5.1) 色覚多様性について

Perception
Volume 9, Issue 1, March-April 2018
© The Author(s) 2018. Article reuse guidelines
https://www.tandfonline.com/doi/10.1177/2041669518761731



Special Issue: Seeing Colors

A Novel Method of Color Appearance
Simulation Using Achromatic Point Locus With
Lightness Dependence

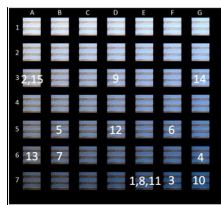
Ichiro Kuriki <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2041669518761731>

- ・照度変化に伴って色の見え方が変化する。
- ・人間の色覚はかなり多様であることの一例
- ・同じ色でも違う色として感じている可能性がある。

「色覚は健全な錯視である」(by 下條信輔)

実は色覚異常も、『色間違い』という言葉自体が、概念としておかしい。
それは「間違い」ではなく「少数派」であるだけだ (by川端裕人)』

「色のふしぎ」と不思議な社会——2020年代の「色覚」原論



・割と青黒に見える人の方が多い



I-5.2) 色覚多様性、色覚と読みについて

・色覚異常は日本人男性の5%程度いるとされている。
残りの95%は色覚に異常がない、のか?

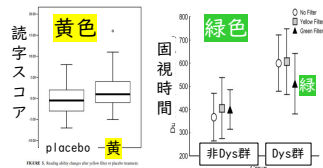
・日本人男性の30%は、程度の差こそあれ、他の70%
の人と異なる色覚を有していると言える。(岡部, 2002)

・石原式の検査では正常な三色覚でも18%強が不合格となる

@偽陽性が多い。(Barbur, 2021)

⇒「異常」ととらえるより、多様性ととらえるべき。

色覚異常⇒色覚多様性 (日本遺伝学会, 2017)



色フィルターにより読みが改善。
(Stein, 2005; Razukら, 2018)

カラーフィルター(メガネやシート)を用いると字が見やすく感じること
は一部でよく知られた事実。
色の見え方には多様性があることを踏まえると、個人に合う見やすい環境を考えることは重要。

II. 視知覚・視覚認知とは

- 外界の3次元空間にある物体に含まれる視覚情報がどのようなものを解釈、判断する過程。
- 低次～高次の脳内処理過程をさす。

1. 低次レベル処理:

網膜～後頭葉1次視覚野(V1)

長さ、方位、方向、コントラスト、色、運動方向、両眼視差

2. 中間レベル処理:

輪郭統合、表面特性、表面区分、表面の奥行き、

表面の分節、物体の運動/運動手がかりからの形状復元

3. 高次レベル処理:

物体の同定

(Kandel, ERら, 2012; 金澤ら, 2014)

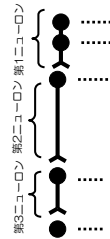
4. 視覚情報処理に関する2つの経路:

25

II-1.1) 視覚経路(視路)

(1) 網膜retina

- 視細胞(錐体(Cone)と桿体(Rod))
- 双極細胞
(アマクリン細胞、水平細胞)
- 神経節細胞



(2) 視神経

(3) 視交叉

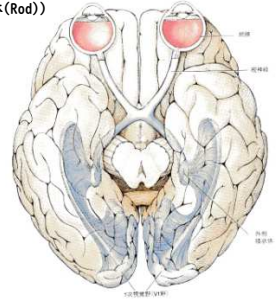
(4) 視索

(5) 外側膝状体

(6) 視放線

(7) 後頭葉(V1)

visual cortex



26

II-1.2) 低次レベル処理: 単純な属性の分析



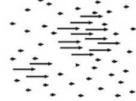
Contrast
コントラスト



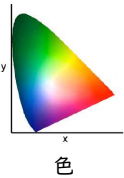
Orientation
方位



Disparity
両眼視差



Movement direction
運動方向

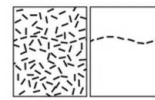


色

(Kandel, ERら, 2012; 金澤ら, 2014)

27

II-2. 中間レベル処理 V1~V2, V3, MT/MST V1~V2, V4



輪郭統合
(大域的輪郭)



表面の区別



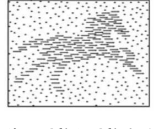
表面奥行き



表面特性



表面の分節

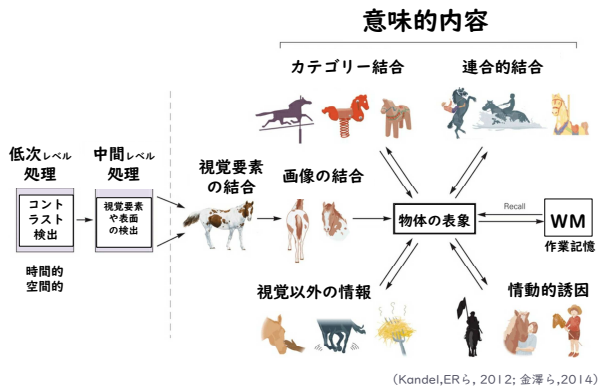


物体の運動や運動手がかりからの形状復元

(Kandel, ERら, 2012; 金澤ら, 2014)

28

II-3. 高次レベル処理

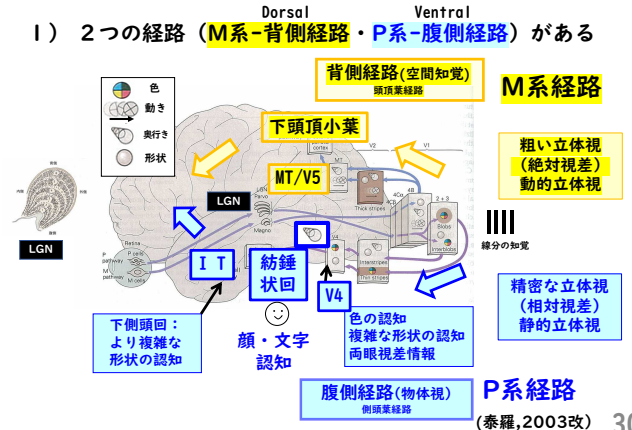


(Kandel, ERら, 2012; 金澤ら, 2014)

29

II-4. 視知覚・視覚認知の脳内機構

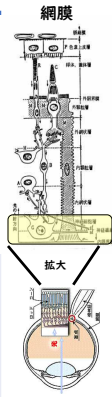
1) 2つの経路 (M系-背側経路・P系-腹側経路) がある



(泰羅, 2003改) 30

II-4.2) M系、P系の始まりは網膜神経節細胞から

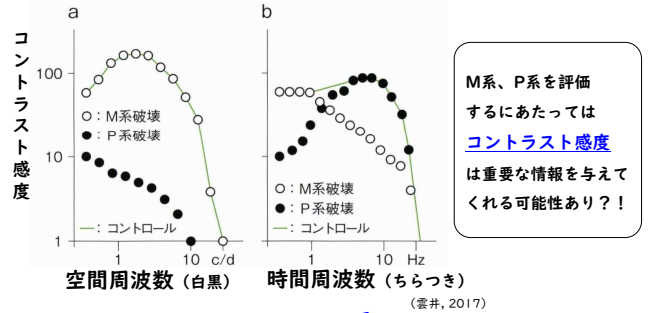
	機能的特徴	構造的特徴
M系	<ul style="list-style-type: none"> 動き、奥行き、位置処理 聴覚情報の高速処理 明暗(の変化)に敏感。 →時間的分析 分解能(形態覚)は低い。 文字と音の対応に関与 	<ul style="list-style-type: none"> 網膜上の受容野が大きい(樹状突起の範囲が広い) LGN※では1~2層に投射
P系	<ul style="list-style-type: none"> コントラスト、輪郭、色・形の要素分析処理 明暗の変化の検出は悪い。 分解能(形態覚)は高い。 →空間的分析 	<ul style="list-style-type: none"> 網膜上の受容野が小さい(樹状突起の範囲が狭い) LGN※では3~6層に投射



※LGN: 外側膝状体。網膜と後頭葉の中継地点。

31

II-4.3) 空間・時間周波数特性の関係



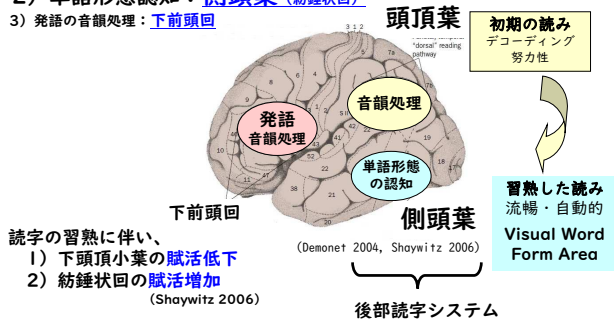
- はM系であるLGN1~2層を破壊 ⇒ ほぼP系の機能を反映する。
●はP系であるLGN3~6層を破壊 ⇒ ほぼM系の機能を反映する。
- 空間周波数: P系破壊で大幅低下
 - 時間周波数: P系破壊で低周波低下、M系破壊で高周波低下

32

III-1.1) 読みに関する脳内処理機構

《アルファベット言語》

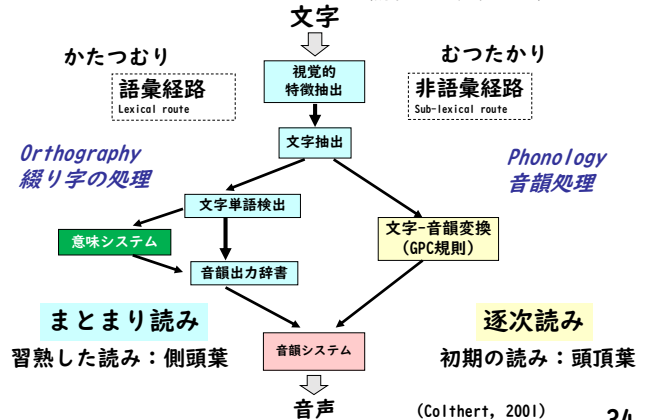
- 音韻処理: **頭頂葉**(下頭頂小葉)
- 単語形態認知: **側頭葉**(紡錘状回)
- 発語の音韻処理: **下前頭回**



33

III-1.2) 文字を読むときの処理モデル

(読字の二重経路モデル)

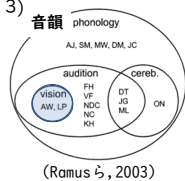


34

III-2.1) Dyslexiaと読みの障害の関係

- 単語や文字を音に変換する段階(decoding)をさす。従って「読み」の障害は発音の問題を除く、「音読」など「音韻化」の障害である。
発達性ディスレクシア研究会 HP FactSheet <http://square.umin.ac.jp/dyslexia/factsheet.html>
- 文字が読めないと表現されることが多いが、「読めない」のではなく**読むのが極端に遅く、よく間違える**
- 基本的に**音韻の障害を全例で有する**。視覚的な問題も含まれるが一部である。(2/16人@ Ramus,2013)

⇒視覚的なトレーニングだけでもDyslexiaの問題は解決しないと考えられる。



(Ramusら, 2003)

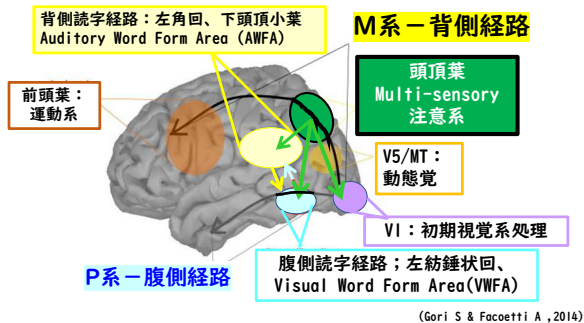
35

III-2.2) Dyslexiaと背側経路障害仮説

- 一部の発達性DyslexiaがM系-背側経路における運動情報処理障害を有する
⇒眼球運動時の視覚情報抑制機能の障害 (Stein Jら,1997:2001)
⇒動態知覚課題での報告が有名。(Sperlingら,2006)
- 背側経路が文字列の視覚的な把握に重要で文字列(つづり)や文字から音への変換処理、音韻認識の発達に影響する (Vidyasagerら, 2009)
- 視覚注意シフトの障害は、迅速に注意を向けることの障害で、Dyslexiaの特徴でもある。(Hari & Renvall, 2001)
- 聴覚や視覚の対象物への迅速かつ自動的な注意の向け方に特有の障害があることが提唱されている。これがつづりと音韻の結合に基づく読みの習得に影響を与える。
(Facoettiら,2010a;Lallierら,2010;Blomert,2011)

36

Ⅲ-2.3) 読み障害と視覚注意の関係性



頭頂葉の多感覚に關する注意系統がM系、P系ともに関与するというモデル。
 頭頂 (角回/下頭頂小葉) への時間分解能 (単語配列) への関与、
 側頭 (紡錘状回) への空間分解能 (単語同定) への関与

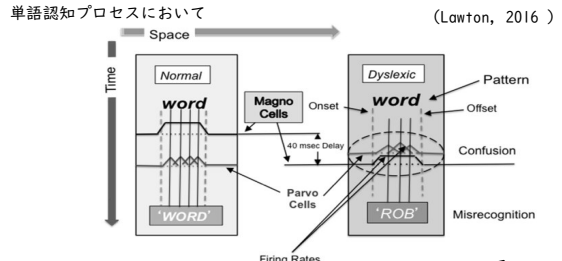
37

Ⅲ-2.4) 注意の影響により

38

(文字の歪み・反転などによる)

単語の誤読が生じる理由 (モデル)



定型発達: M系 ⇒ P系への処理

文字の並び(位置)同定

⇒ 文字分析

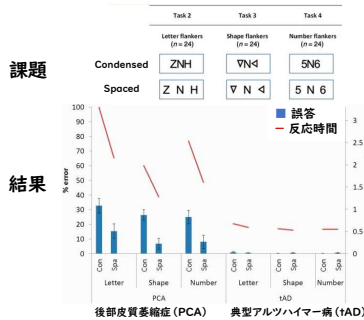
- Dyslexia児: M系低下 ⇔ P系
- M系処理の遅れ
- ⇒ 文字配列 (位置) 同定の不正確さ
- ⇒ P系の単語分析と同時に並行して処理が進む
- ⇒ 混同や誤認が生じ、結果的に音読に時間がかかる、とするモデル。

Ⅲ-2.5) 注意の影響により読みが障害される例

① Crowdingへの影響

=Condensed

: PCAと↑ADの比較



PCA: 注意機能の障害で有名

- 両群に字ひとつ視力には差はない
- PCAではCrowding条件で、
 - 誤答率増加
 - 反応時間が延長
- 字づまり具合が読みに影響することを示した例

(Yong KX et al., 2014)

39

Ⅲ-2.5) 注意の影響により読みが障害される例

② 余白と読みの関係

文書の余白が広いと、読み書き障害児の誤読が減る

実験参加者: 8~14歳

30名: イタリア語話者 対照群
 34名: イタリア語話者 Dyslexia (言語体系: 単純)
 40名: フランス語話者 Dyslexia (言語体系: 複雑-英語)

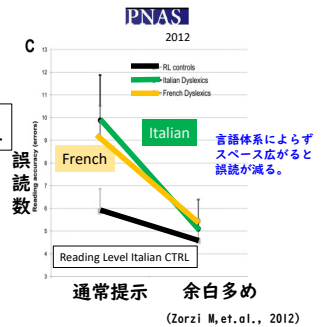


Fig. 1. Samples of the text read by the dyslexic and normally developing children matched for reading level. (A) Normal text. (B) Spaced text.

通常提示 余白多め

(Zorzi M, et al., 2012)

40

Ⅲ-2.5) 注意の影響により読みが障害される例

③ 文字サイズと行間の影響

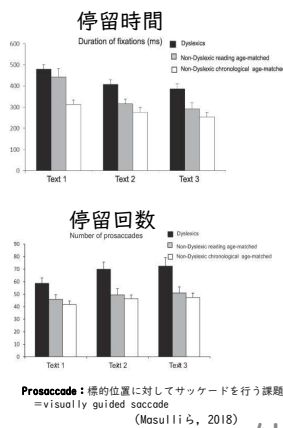
文字サイズ、行間で眼球運動パターンは変化。でも音読時間は変わらず。

- Text 1: 文字サイズ: 25pt; 行間: 1.0pt.
- Text 2: 文字サイズ: 25pt; 行間: 2.5pt.
- Text 3: 文字サイズ: 30pt; 行間: 2.5pt.

■ Dyslexia群 vs □ Dyslexia群と同じ読字レベル群 vs □ Dyslexia群と同じ年齢群

文字が大きくて行間が広い文章 (Text2と3) を読むことで、Dyslexia児の停留時間は、非Dyslexia児の2群と同様になった。(停留回数が多い)

視覚注意の問題 (標的文字に注目しやすくなった)
 文字サイズよりも行間の広さが重要!



Prosaccade: 標的位置に対してサックドを行う課題 = visually guided saccade (Mosulilar, 2018)

41

Ⅳ. 考察とまとめ

- 「視機能」、「視知覚・視覚認知」、「読み」と「注意」の問題について概観した。
- 「視機能」は「読み」のための必要条件。
- 「注意」が「読み」と深く関わる。(視覚認知に影響)
- 「読み」を検討する上で「視機能」「視知覚・視覚認知」の評価を忘れない。
- 発達性Dyslexiaの読みの遅さを一部説明するものではあるが、すべてではない。

発達性Dyslexiaの音韻障害による「読みの遅さ」は視環境整備だけで解決できないが、困難の軽減は期待できる。

42