

児童睡眠脳波の睡眠段階判定における 高速自動解析システムの妥当性の検討

豊村和真

はじめに

本研究では、精神遅滞の原因は胎児期又は乳幼児期の初期における中枢神経系の疾患である（ルリヤ 1962）と考える。このような立場をとるならば、精神遅滞の本質を研究し、精神遅滞児の福祉及び教育を考えるためには彼等の中枢神経系の理解が肝要である。精神遅滞児の中枢神経系の生理心理的状态を診断・把握するためには中枢神経系の異常を検出しやすく、しかも、中枢神経系の各レベルでの異常を反映するような指標が数多く存在することが望ましい。そのような指標として睡眠脳波が考えられる（豊村 1983）。

精神遅滞児の睡眠脳波を研究するためには、まず対照群であるところの正常児童の睡眠脳波の検討が必要である。ところが、正常者の睡眠脳波学的研究の大部分は乳幼児と成人に集中し、学童期のそれは極度に少ない¹⁾。従って、まず正常児童の睡眠脳波に関する知見を集めなくてはならない。

さきに述べたように、睡眠脳波には数多くの指標があるが、通常はそれらの指標がどの睡眠段階にどの程度出現するかという点が重要なことが多い。すなわち、睡眠研究の基礎として睡眠段階がある。この判定の（正常成人の）睡眠段階の国際的基準は Rechtschaffen and Kales (1968) によって完成されているが、その手続に従えば、20秒を1単位として1夜に8時間寝るとして $8 * 60 * 60 * / 20 = 1440$ もの判定をすることになる。この判定に要する時間はおよそ数時間であり、（睡眠段階自身が判定の際の重要な指標ではあるが、どちらかといえば）睡眠段階は他の指標の判定の際の基礎資料であるのでこのような多数の判定を行なうのでは、研

究の対象にはなりえても、到底臨床の場面では実用になりえない。仮りに、それが可能としても、それだけの判定には疲労等の原因で判定の信頼性が低くなるであろう。そこでこの睡眠段階の分析をコンピュータによっておこなえないかという考えが生じる。コンピュータの分析が完全に人間の判断と一致しなくとも、その不一致部分がある程度決定できるならば、粗判定をコンピュータが行い、不一致部分でありうる部分のみ人間が判定するという、いわゆる“ハイブリッド”な判定方法でも判定の際の省力化としての価値は大きい。そこで、コンピュータによる睡眠段階の判定と人間による判定との一致率を知る必要がある。

本研究では、東北大学医学部が沖電気の協力のもとに開発したシステムを使用する。このシステムは対象が成人の場合については、基礎的研究も（平賀ら 1982）、臨床的研究も（松岡ら 1982）行われているが、まだまだ未確認の部分が多い。というのも、本来、Rechtschaffen and Kales（1968）のマニュアルは、正常成人の脳波の判定の際に、人間にとって判定しにくい部分を人間にとってより容易に判定できるようにするという意図で作成されたものである。従って、睡眠段階の判定のアルゴリズムを示したものではないので、どの程度、人間の判定とコンピュータの判定が一致するのか理論的に検討するのは困難であるからである。まして、対象が児童の場合にはどの程度適用可能であるのかは不明な部分が多い。というのも、学童期の脳波は脳波波形の振幅、周波数のような基本的属性が被験者の年齢の数年の差で相当大きく変化することが推測されているが、これらの基本的属性によって睡眠段階が決定されるからである。

本研究の目的は上記のような問題意識の下に正常児童の睡眠段階の判定をコンピュータに行わせた結果を人間によるその判定と比較し、それらの一致率が低ければその理由を探ることにある。

方 法

被験者は仙台の養護施設にいる10-15歳の児童10名。

記録場所は被験者の寝室とした。

原則として、2夜以上記録し、その第2夜目の記録を分析したが、被

児童睡眠脳波の睡眠段階判定における高速自動解析システムの妥当性の検討

験者の都合で一夜しか記録できない場合もあった。

その他の記録方法及び、睡眠脳波の分析方法の詳細については豊村(1983)を参照されたい。

Rechtschaffen and Kales (1968) に準拠するよう作成された高速自動解析システムの判定結果(以下自動判定)を2名の人間の判定者の結果(以下判定1, 判定2)と対比した。判定1は判定者が3年以上の睡眠研究歴をもつ者により判定された結果であり, 判定2は, 大学院博士課程に在籍中の, 生理心理学的研究に数年のキャリアをもつ(睡眠研究歴はない)者により判定された結果である。判定2の判定者は生理心理学的指標(例えば, EOG, プレチスモ, EMG..)の判定に慣れており, 睡眠脳波の判定にもそれほど違和感は抱かなかつたはずである。判定前に Rechtschaffen and Kales (1968) のマニュアルを熟読させ, 判定時には常に参照させた。判定間の一致率としては幾つかの指数が考えられるが, 本研究では各睡眠段階において双方の判定の一致した時間の合計を, 記録した時間で割ることにより得られる値(%)を用いた。

結 果

図1-10は表2に示した被験者番号(ID)1-10に対応する被験者各々の判定2, 判定1, 自動判定の結果である。縦軸のS1, S2, S3, S4は各々睡眠段階をさす。SWは覚醒段階である²³。REM睡眠段階は図中に約90分おきに見られる横縞の部分である。横軸は記録開始からの経過期間である。おおまかな印象としては判定1と判定2はよく一致している。自動判定はそれらと多少異なつたところが見られる。最大の相違点は判定1・判定2は睡眠段階の移行がなめらかなのに対し, 自動判定は櫛歯状になっている(とげとげしい)点であろう。次に, これらの判定の一致率を検討した。

まず, 判定1と判定2を区別せず, 自動判定と人間の判定との比較を示す場合は自動判定×人間と表記し, 例えば自動判定1と判定1の組は自動判定×判定1と表記することにする。表2に一致率の一覧及び, 被験者の属性を示した。一致率の下の○内の数字は各々の判定内の順位を示している。IDの下の括弧内の数字は各被験者の年齢を示している。な

お、特記事項中の下線が引かれた部分は本研究で記録した睡眠脳波記録による(松岡ら(1982)等で筆者と共同研究を行ったことのある)精神科医の所見である。下線の記載のない被験者は正常という所見であった。

被験者番号は年齢の小さい順につけているが、一致率は必ずしも被験者番号と対応していず、3組の判定組間の一致率も必ずしも対応していない。そこで図11に判定1×判定2の一致率の大きい順にデータを並びかえ、図示した。図11から判定1×判定2に較べて自動判定×人間は約0.05~0.1程平均して下回ることがわかる。

次に、自動判定×人間の不一致がどの睡眠段階で大きいのかを検討するため、各睡眠段階における自動判定×判定1の対応を表にした(表2、表3)。図1~図10からわかるように被験者によって睡眠時間が異なるため、これらの表は被験者ごとに自動判定と判定1の対応をとり、それを百分率にしたものの平均値で示された。表2は判定1の各睡眠段階を基準とした場合の自動判定の一致・不一致が示されている。表2はその逆である。従って表中の太線内はその睡眠段階の一致率を示している。一致率が70%以下の睡眠段階は表2ではSW, S1, S2であり、表3ではSW, S1, S3であった。なお、自動判定×判定2についても同じ傾向であった。判定1×判定2についても一致した割合が高いことを除けば同じ傾向が見られた。

考 察

自動判定は Rechtschaffen and Kales (1968) のマニュアルに忠実に従って分析を行うことから人間の判定と一致しない部分が生じる。Rechtschaffen and Kales (1968) に従えばある特別の脳波波形に着目して分析を行うことになる。この波形は周波数や振幅がある範囲におさまることが要請されている。一例として S2 と S3 を区別する波形のひとつである δ 波は 2Hz 以下で、 $75\mu\text{V}$ 以下であることとなっている。そこで例えば、 $90\mu\text{V}$ 、1.5Hz の波形を人間は、波形をパターンとしてとらえるため上記の範囲から多少はずれていても同じ波形と認識するが、コンピュータはその波形をデジタル化してしまうため上記の範囲にないとして除いてしまうようなことがおこりえる。このような理由により自動判定では

櫛歯状に睡眠段階が移行すると思われる。

結果で示した一致率の低かった睡眠段階のうちあるものはこれで説明がつくと思われる。児童の脳波は成人のそれに比較して波形全体の振幅が大きいので、相対的に振幅を小さめに評価してしまうのではないかと考えられる。そこで判定1でS2としたもののうち37.46%は自動判定ではS3に分類されてしまうのであろう。

ただし、Rechtschaffen and Kales (1968) は成人の脳波に関するマニュアルであって、既に述べたような児童睡眠脳波の特質を考慮すれば、このマニュアルが児童にも妥当であるとはいえない。Rechtschaffen and Kales (1968) の前身である Dement and Kleitman (1957) では δ 波の振幅の上限値は $100\mu\text{V}$ であったし、幼児から老人まで広範囲に検討した Williams ら (1974) では $40\mu\text{V}$ であった。そこで、児童睡眠脳波に関しては、成人のそれと同じ感覚で判定してもよく一致するように波形の振幅の範囲を設定することも考えられる。

結果で述べた、一致率の低かった他の睡眠段階 SW, S1 については上記の理由の他にも原因があると思われる。Rechtschaffen and Kales (1968) に従うと、判定は脳波記録用紙のページごとに行うが、元々脳波計の紙送り精度はそれほど高くないので、自動判定と人間とでは記録の後半では別々の所を同じものとしている可能性がある。この補正をするためタイマーも使用したがそれでも先の可能性を完全に否定できない(数秒~数十秒ずれているかもしれない)。これがとくに SW 及び S1 に影響するのは、それらの睡眠段階が睡眠全体に占める割合が小さいからである。Williams ら (1974) によれば、本研究の被験者の SW 及び S1 の睡眠全体に占める割合は 1-4% 程度であり、わずかな不一致でもおおきく一致率を低下させてしまうからである。

本研究では、被験者の都合から実験室でない所で脳波記録をとったため、かなりのアーチファクトが記録にのってしまった。それが低年齢の被験者に集中してしまったため、判定の一致率の低下をまねいた要因が年齢なのかアーチファクトであるのか区別できなかった。自動判定×判定1と自動判定×判定2の差が目立ってくるのも図11で被験者5より右側であり全て被験者番号が小さい(年齢小さい)ものである。以上の点をさらに追求できるような実験を組むこと、及び、児童用の睡眠脳波の

判定基準を再考することが今後期待される。

結 論

10-15歳の児童10名の睡眠脳波記録をコンピュータに判定させた結果を人間の判定者2名の結果と比較した。以下の様な結果が得られた。

1. コンピュータによる睡眠段階の判定と人間のそれとの一致率は0.455~0.791であり、いっぽう人間の判定間の一致率は0.541~0.913であった。
2. 上記の一致率の低かった睡眠段階はSW, S1, S2, S3であった。
3. S2とS3の不一致の理由については主として人間とコンピュータの認識の違いによるが、SW, S1のそれについては、さらに、記録方法の精度の問題も考えられる。

[注]

- 注1 例えば、大熊(1983)でもこの時期の睡眠脳波の状態像については触れられていない。その最大の理由としては被験者が得られにくいからである。中枢神経系異常があるという疑いがあるならともかく、正常な児童を少なくとも2夜(第1夜目の記録は通常使用しない)¹²慣れない実験室に泊めざるをえず、しかも、このような分野にあまりなじみのない場合にはその研究の持つ意味を理解しがたく、本人からも両親からも睡眠脳波をとってもよいと了解がなかなか得られにくいからである。
- 注2 頭に電極をつける等の普段と違う状態で被験者に眠ってもらうので、記録第1夜目には通常とは異なる(普通は浅くなる)睡眠記録が得られてしまうので(First Night of Effectと言う)第1夜目の記録は分析の対象としないことが多い。
- 注3 覚醒段階も睡眠には含まれる。また、本研究では Rechtschaffen and Kales (1968) のMTもSWに含めている。

児童睡眠脳波の睡眠段階判定における高速自動解析システムの妥当性の検討

表 1 被験者の属性と、一致率(○内は順位, 本文参照)

I D 年 齢	自動判定 ×判定 1	判 定 1 ×判定 2	自動判定 ×判定 2	特 記 事 項 (<u> </u> は精神科医の判断)
SUB 1 (10.0)	0.693 ⑤	0.693 ⑧	0.581 ⑥	
SUB 2 (10.8)	0.633 ⑨	0.814 ⑤	0.645 ⑤	呼吸混入, 一度中断, EMGにノイズ, Poor Spindles
SUB 3 (10.9)	0.693 ⑤	0.541 ⑩	0.522 ⑨	若干の判定不能(アーチファクト), Poor Spindles, Over Delta Waves
SUB 4 (10.9)	0.683 ⑦	0.709 ⑦	0.573 ⑦	一度中断, Slightly Poor Spindles, Postdrowsal Hypersynchrony
SUB 5 (11.8)	0.659 ⑧	0.744 ⑥	0.552 ⑧	EMGにノイズ, Over Spindles in SR, Postdrowsal Hypersynchrony, <u>Immature</u>
SUB 6 (12.6)	0.554 ⑩	0.662 ⑨	0.455 ⑩	Spindle θ , Slow Spindles, <u>Slightly abnormal EEG</u>
SUB 7 (12.8)	0.753 ③	0.913 ①	0.748 ③	
SUB 8 (13.4)	0.783 ②	0.824 ④	0.725 ④	一度中断, Slightly Over Delta Waves
SUB 9 (14.6)	0.791 ①	0.910 ②	0.784 ①	Over Fast Waves
SUB 10 (15.4)	0.733 ④	0.843 ③	0.769 ②	ゲイン調整不良部分あり, Poor Spindles, Over Delta Waves

表 2 自動判定と判定 1 の対応(1) (表中数字は%, 本文参照)

		判 定 1						
		S W	S 1	S 2	S 3	S 4	S R	合 計
自 動 判 定	S W	46.38	4.86	1.45	0.99	0.84	0.97	4.26
	S 1	23.02	30.39	4.56	0.48	0.00	7.07	5.84
	S 2	4.80	18.93	54.05	8.09	0.09	8.60	21.63
	S 3	12.36	22.59	37.46	81.59	11.48	11.79	32.71
	S 4	0.22	0.00	0.23	8.59	87.60	0.00	19.93
	S R	13.22	23.24	2.25	0.27	0.00	71.57	15.63
	合 計	100.00	100.01	100.00	100.01	100.01	100.00	100.00

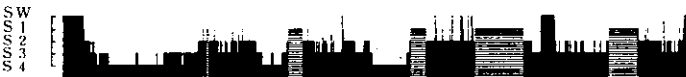
表 3 自動判定と判定 1 の対応(2) (表中数字は%, 本文参照)

		判 定 1						合 計
		S W	S 1	S 2	S 3	S 4	S R	
自 動 判 定	S W	68.10	6.36	10.69	5.91	4.68	4.26	100.00
	S 1	31.48	21.54	23.30	1.57	0.00	22.11	100.00
	S 2	1.48	3.58	75.59	9.34	0.09	9.91	99.99
	S 3	2.13	2.43	30.51	51.82	7.97	5.14	100.00
	S 4	0.08	0.00	0.23	8.22	91.47	0.00	100.00
	S R	6.30	5.27	3.98	0.41	0.00	84.05	100.01
	合 計	6.72	3.89	30.09	20.33	20.67	18.30	100.00

〈判定 2〉



〈判定 1〉



〈自動判定〉

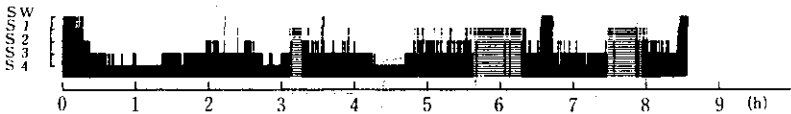


図 1 睡眠図 (SUB1)

児童睡眠脳波の睡眠段階判定における高速自動解析システムの妥当性の検討

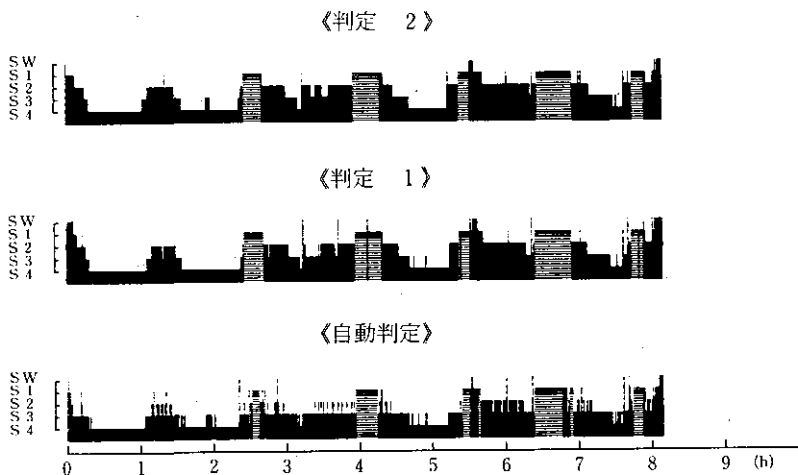


図 2 睡眠図 (SUB 2)

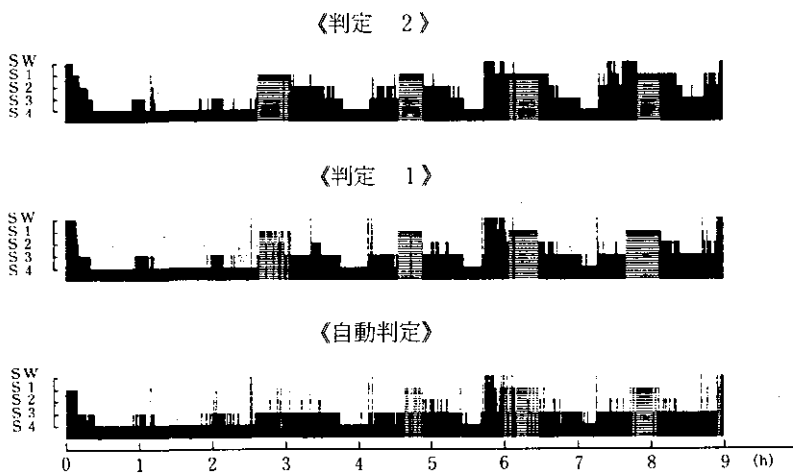


図 3 睡眠図 (SUB 3)

〈判定 2〉



〈判定 1〉



〈自動判定〉

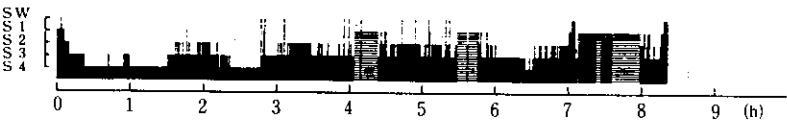


図4 睡眠図 (SUB4)

〈判定 2〉



〈判定 1〉



〈自動判定〉

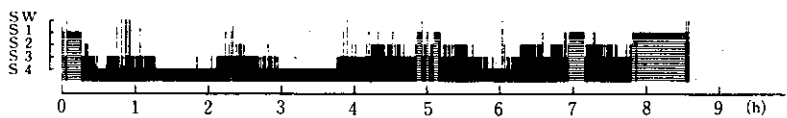


図5 睡眠図 (SUB5)

児童睡眠脳波の睡眠段階判定における高速自動解析システムの妥当性の検討

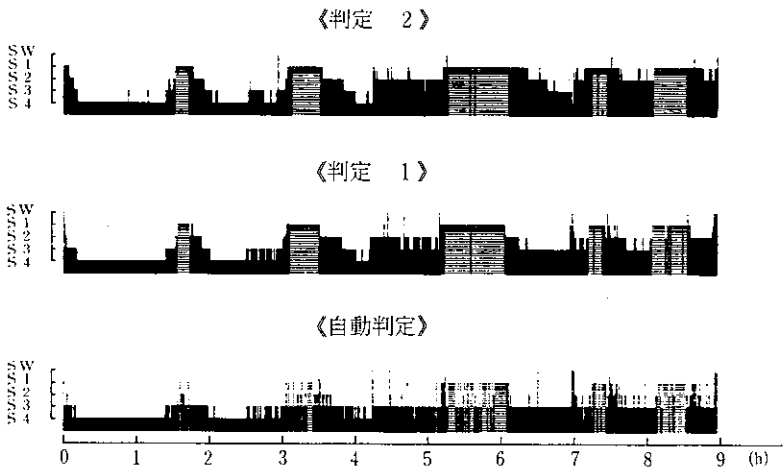


図 6 睡眠図 (SUB 6)

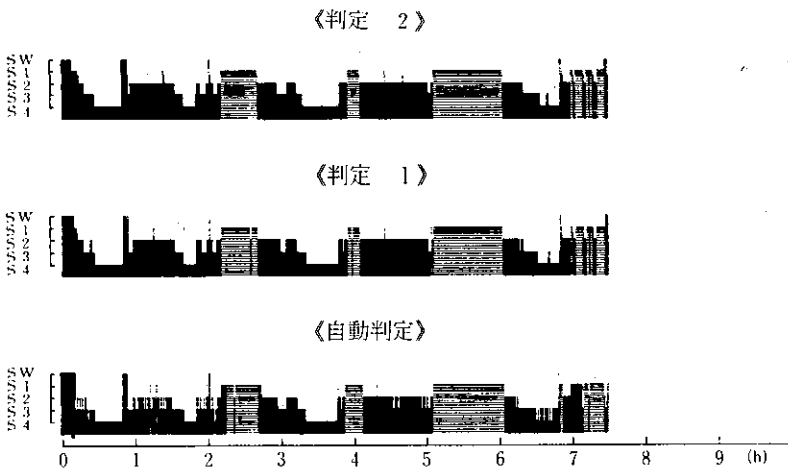


図 7 睡眠図 (SUB 7)

《判定 2》



《判定 1》



《自動判定》

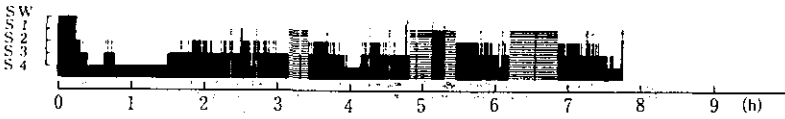


図8 睡眠図 (SUB8)

《判定 2》



《判定 1》



《自動判定》

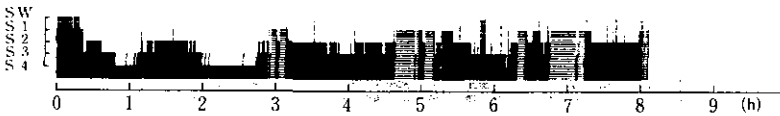


図9 睡眠図 (SUB9)

児童睡眠脳波の睡眠段階判定における高速自動解析システムの妥当性の検討

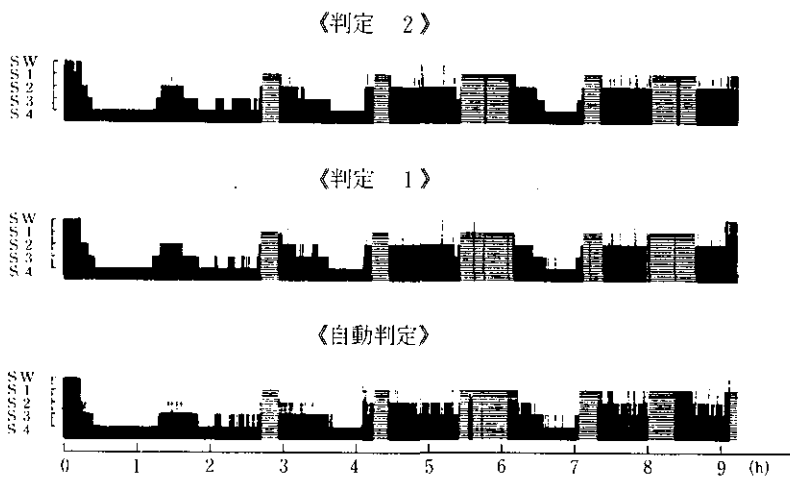


図10 睡眠図 (SUB10)

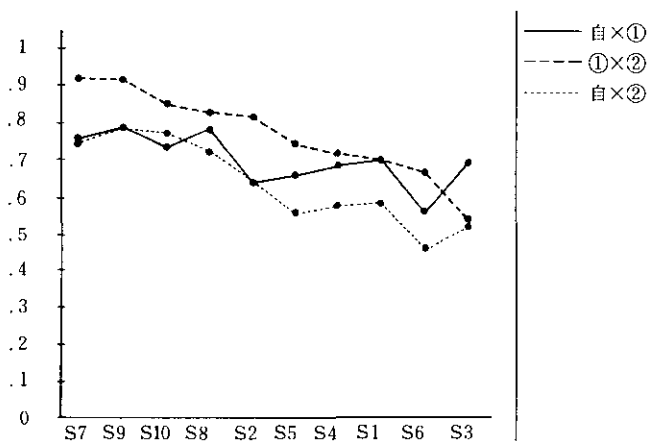


図11 判定1と判定2の一致率が大きい順に並べた図

(S1-S10は表1のSUB1-SUB10に対応。また、自は自動判定に、
①-②は判定1、判定2に対応する)

文 献

Dement, W. and Kleitman, N. (1957) : Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. EEG J. 9.673-690

平賀 旗夫, 一条 貞雄, 松岡 洋夫他(1982):睡眠ポリグラフの諸要素-コンピュータと人の認識の相違について-, 脳波と筋電図, 10,180-187

松岡 洋夫, 大熊 輝雄, 豊村 和真他(1982):終夜睡眠ポリグラフの自動解析-中枢刺激薬の影響を中心に-, 臨床脳波, 24,837-843

大熊 輝雄 (1983):臨床脳波学 第3版, 医学書院

Rechtschaffen, a. and Kales, A. (Eds.) (1968) : A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Pubulic Health Service. (清野 茂博(訳), 睡眠脳波アトラス-標準用語・手話・判定法, 医歯薬出版, 1971)

豊村 和真 (1983):児童の終夜睡眠脳波の特徴について-高速自動解析システムを用いて-, 松野 豊"認知発達とその障害に関する精神生理学的研究(昭和57年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書)", 53-67

豊村 和真 (1985):精神遅滞児における睡眠段階の発達の特徴について, 特殊教育学研究, 22, 38-50

Williams, R. J., Karacan, I. and Hirsch, C. J. (1974) : Electroencephalography (EEG) of Human Sleep: Clinical applications. John Wiley & Sons.