参考

★ 強制選択法　forced-choice method（test）

選択肢の数をあらかじめ実験者が限定して問いかけ、その中から被験者に答を選ばせる方法のこと。

　ex.５つの選択肢の中から答えを選びなさい

言語表示ができない被験者（サルや赤ん坊等）の場合には応答しうる選択肢の数を二者択一等のように予め限定しておく

　ex.右に行くか左に行くか

予め選択の範囲が決まっているのでデータの処理が便利。そのかわり選択肢の選択そのものは実験者が恣意的に行なったものであることを常に明記する必要がある。

⇔自由選択法　free-choice method（test）

　どれを選んでも構わないし、そもそも選ぶべき範囲を示さない方法のこと

　　ex.すみれの花びらを見せて色を問う

　　　→強制選択法：「赤、青、紫…の色名の中から答えなさい」

　　　→自由選択法：どのように色を記述しようと被験者に任される

（心理学辞典,1999）

★ 多重比較

・多重比較を行う理由

　分散分析における帰無仮説は「**すべての水準の平均値は等しい**」であり、主効果が有意で帰無仮説を棄却して採択される対立仮説は「**すべての水準の平均値は等しいわけではない**」である。よって、主効果があっても「どこかの水準の間に有意差がある」ことしか示されておらず、どの対の水準間に有意差があるかはわからない。分散分析において主効果が有意であることは、各水準の平均値の少なくとも１つ以上の組み合わせ[1]について、有意な差があることを意味しているのである。そのため、２水準であれば、主効果が観察されたら「全ての水準＝２つの水準の平均値が等しいわけではない」となるのでその２つの条件の間に有意差があると言えるが、３水準以上であればどの水準間に差があるのか特定できない。そのため、多重比較を用いてどの対となる水準の間に有意な差があるのか検討する必要がある。

---

[1]組み合わせは必ずしも一対比較だけを意味しているのではなく、３つ以上の平均値の組み合わせによる比較における差によって主効果が有意となる場合もある

本論文では familiar 群と統制群を比較したとき、concept をどのように提示するか（analogical text を付与して提示するか、literal text を付与して提示するか、text を付与しないで提示するか）という３水準を含む要因について主効果が観察された。しかし、どの条件の間に有意差があるかはわからない。よって、多重比較を行なってそれを明らかにしようとしているのである。

・多重比較の種類について

多重比較の方法には幾つかあり、本論文では Newman-Keuls 検定を用いている。多くは２つの平均値を比較する一対比較を採用しているが、３水準以上の平均値の組み合わせによる効果を検討する場合には一対比較以外の比較を用いる（多重 t 検定や Scheffe 法など）。どの方法を用いるかによって結果（各対の間に有意差が見出されるか否か）が異なる。

各水準の平均値の差について、予め特定の仮説がもうけられている場合は「アプリオリな比較[2]」、当該の要因に何らかの効果があることだけを仮定し個々の平均値の差については特に仮説を持たない場合を「アポステリオリな比較」という。そのどちらであるかによって適用される多重比較が異なる。アポステリオリな比較では、まず検討の対象となっている要因の全体的効果（分散分析における主効果など）が有意でなければならない。本論文はアポステリオリな比較といえる。

アプリオリな比較には『多重 t 検定』、『Dunn 法』がある。

アポステリオリな比較には『Fisher の LSD 検定』、『Newman-Keuls 検定』、『Tukey の HSD 検定』、『Tukey の WSD 検定』、『Ryan 法』、『Scheffe 法』があり、Scheffe 法以外は本来一対比較にのみ適用される。それぞれの検定には以下のような特徴がある。

- LSD 検定や Newman-Keuls 検定は他の方法に比べて検定力が高く有意差が出やすいが、分散分析における誤差の割合の概念的単位を多重比較における其れとが一貫していない
- HSD 検定は検定手続きが比較的簡単。第一種の誤りについて非常に厳格であり検定力[3]が低い
- Scheffe 法は一対比較以外の比較に有効だが、手続きがやや煩雑で一対比較では検定力が低い
- WSD 検定及び Ryan 法が最も適切に第一種の誤り[4]をコントロールしているといえる

また、複数の実験条件のそれぞれの平均値と、１つの統制条件の平均値を比較する差異に用いられ

2　アプリオリな比較を行なう際に用いる多重比較の方法を選ぶ観点として「２つ以上の比較が互いに直交するか否か」というものがある。直交する場合を直交比較と、直交しない場合を非直交比較という。

3　帰無仮説を棄却する場合に棄却する確率のこと。簡単に言えば有意な差の出やすさ。高いほど有意差がでやすく、低いほどでにくい。

4　帰無仮説の方が正しいのに誤って棄却してしまうこと

る方法に『Dunnet の t 検定』がある。A 群を統制群としたとき、実験群である B,C,D……群とそれぞれ比較してそれぞれの２群間で検定を行なう方法（A 対 B、A 対 C、A 対 D……）である。そのため、実験条件の間での比較も検討の対象である場合には用いられない。

以上のことを踏まえて最も適切な方法を採用することが望ましい多重比較といえる。

・多重比較において用いられる統計量について

◆ステューデント化された範囲

範囲（最大値‐最小値）という統計量の期待値は標本の大きさが大きくなるほど、大となる。これは抽出した各標本の平均値の範囲に関しても同じで、処理水準が多くなればなるほど、平均値の最大値‐平均値の最小値の値は大きくなることが期待される。そのため、処理水準の数を考慮することなく、統計量 t（２つの標本の平均の差を検定する際に用いられる統計量）をそのまま利用して全ての一対比較を行なうことには問題がある。よって、パラメータの中に処理水準の数 m を含む**ステューデント化された範囲**という統計量 q を用いる。

統計量 q は以下の式で求められる。

$$q = (X_{max} - X_{min}) / \sqrt{(MSe/n)}$$

Xmax：最大の平均値

Xmin：最小の平均値

MSe：当該の要因の検定に用いられた誤差項の平均へ違法

n：処理水準のデータ数

統計量 q の臨界値は、有意水準α、誤差項の自由度 df、処理水準数 m によって規定される。そのため、m が大きくなればなるほど q も大きな値にならなければ有意差があるとは判断されないようになっている。

統計量 q を用いる多重比較には本論文で使用されている Newman-Keuls 検定や HSD 検定、WSD 検定がある。

★ Newman-Keuls 検定（ニューマン・キュールズの方法）　Newman-Keuls test,Newman-Keuls ' method

多重比較の方法の一つ。段階法とも呼ばれる。

各群に含まれる水準を平均値の小さいものから大きいものへと並べ、まず最大の水準と最小の水準の間でステューデント化された範囲を用いて検定（対とした平均値の差の絶対値を臨界値 D と比較して有意かどうかを判断する）を行なう。この際、比較の対象となっている２つの平均値も含めて、それらの間に存在している平均値の数をステップ数という。本論文であれば、最大の水準（literal）と最小の水準(control)の間に存在している平均値の数＝ステップ数は３である。

ステップ数 m の場合の比較が有意でなければ、一対比較ではいずれの条件間にも有意な差が得られなかったとして、検定を終える。有意であれば、ステップ数 m-1 の場合、m-2 の場合と順に有意でなくなるまで続ける。このように有意差のある対がある限りステップ数が２となるまで続ける。

ステップ数が m（＝処理水準数）である場合、検定対象は必ず一つであるが（平均値の最大－平均値の最小の絶対値しか臨界値 D との比較対象はない)、ステップ数 m-1 では対象が２つとなる（『平均値の最大-平均値の最小から２番目』と『平均値の最大から２番目-平均値の最小』が検定対象となる場合)。いずれも有意であれば、まだステップ数 m-2 の検定を続ける。いずれも有意でなければ検定を止める。いずれか一方だけが有意である場合には、有意ではなかった対の間にある平均値間にはこれ以上有意差はないものとみなして検定を中止する。有意であった方の対の間にある平均値間に関してはステップ数 m-2 の比較として検定が続行される。

ステップ数 r のときの D の臨界値 Dr は以下の式で求められる。

$$Dr = q_{\alpha, r, df} \sqrt{(MSe/ND)}$$

$q_{\alpha, r, df}$：有意水準α、ステップ数 r、自由度 df のときの q の臨界値[5]

ND：該当する水準の平均値の算出に用いたデータの数

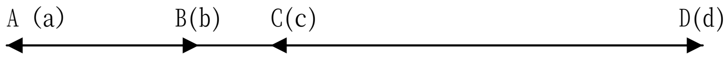
MSe：該当する水準の誤差項の平均平方

※ 近年では Newman-Keuls 検定は第一種の誤りのコントロールをしていないことが明らかになり、使用を推奨されなくなっている。

[5]対応する表があるので、それを利用する。該当する自由度の q の臨界値が表に無い場合はそれよりも小さい自由度の中で最大のものを採用する等の手順を踏む。

例）

A、B、C、D という４つの水準値に関してそれぞれ平均値を a、b、c、d とし、検定にかけるとする。



最大ステップ数は４である。

１）まずステップ数４の検定を行なう。｜d-a｜と D_4 を比較する。｜d-a｜＞D_4 であれば有意差ありと判断してステップ数３の検定を行なう。｜d-a｜＜D_4 であれば有意差はなしとして検定を終える。

２）ステップ数３の検定は｜d-b｜と D_3、｜c-a｜と D_3 の比較である。

a）｜d-b｜＜D_3 かつ｜c-a｜＜D_3 の場合、水準 DB 間にも水準 CA 間にも有意でないとみなし、検定を終える

b）｜d-b｜＞D_3 かつ｜c-a｜＜D_3 の場合、水準 CA 間に含まれる水準間（A 対 C、B 対 C）では有意ではないとみなし検定を終えるが、水準 DB 間に含まれる水準間（C 対 D）ではまだ有意差があるとみなしてステップ数２の検定を行なう。つまり、｜d-c｜と D_2 の比較を行なうのである。

c）｜d-b｜＜D_3 かつ｜c-a｜＞D_3 の場合、水準 DB 間に含まれる水準間（B 対 C、C 対 D）では有意ではないとみなし検定を終えるが、水準 CA 間に含まれる水準間（A 対 B）ではまだ有意差があるとみなしてステップ数２の検定を行なう。つまり、｜b-a｜と D_2 の比較を行なうのである。

b）｜d-b｜＞D_3 かつ｜c-a｜＞D_3 の場合、ステップ数２の検定を行なう。

｜b-a｜と D_2、｜c-b｜と D_2、｜d-c｜と D_2 をそれぞれ比較し、有意かどうか判断する。

★ 参考の参考……その他の多重比較

・ HSD 検定

全ての一対比較にステップ数 m（処理水準数）の臨界値を適用する。ステップ数は考慮しない。

$$HSD = q_{\alpha,m,df}\sqrt{(MSe/ND)}$$

・ WSD検定

Newman-Keuls検定の$q_{\alpha,r,df}$やHSD検定の$q_{\alpha,m,df}$の代わりに、$q_{\alpha,r,df}$と$q_{\alpha,m,df}$の平均値を用いる。

$$WSDr=\{(q_{\alpha,r,df}+q_{\alpha,m,df})/2\}\times\sqrt{(MSe/ND)}$$

・ Ryan法

統計量qを用いない多重比較法。ステップ数によって、個々の比較における有意水準を直接変化させて一対比較を行なう。比率、中央値、分散、相関係数などのさまざまな統計量に対して用いることができる。検定手続きはNewman-Keuls検定同様、段階法である。用いる統計量はt。

各ステップ数での比較における有意水準α'rを名義水準という

$$\alpha'r=2\alpha/m(r-1)$$

（α：分散分析における有意水準）

α'での臨界値よりもt値が大であればαで有意差があると判断される。

以下の手順をとる。

１） 該当ステップ数における名義水準を求める

２） その有意水準でのtの臨界値を求める

３） 対となる水準の平均値の差に関するt値を求めて比較する。臨界値＞t値であれば有意差なし、臨界値＜t値であれば有意差ありと判断される

・ Sheffe法

F比を用いる多重比較。一対比較に限らない。

以上、多重比較については全て　森ほか（1990）に拠る

【参考文献】

心理学のためのデータ解析テクニカルブック（1990）森敏昭,吉田寿夫編,北大路書房

心理学辞典（1999）,中島義明ほか編,有斐閣

認知科学事典（2002）,日本認知科学会編,共立出版