

栄養情報処理教育のための統計ツールのVBAによる実装Ⅱ －多重比較Holm法・Shaffer法の実装など－

A Development of Software Tool of Statistics for the Education of Nutritional Informatics for Dietitians by VBA Part II:

A Development of Software for Holm's and Shaffer's Multiple Comparison Tests and so on

堀 田 裕 史

HORITA Hiroshi

1. はじめに

本稿は、「栄養情報処理教育のための統計ツールのVBAによる実装Ⅰ：－多重比較Peritz法の実装など－」という題で本紀要掲載の前編¹⁾に対する後編である。前編では、他大学の栄養情報処理教育^{2) 3)}や栄養士に必要な情報技術⁴⁾などを見てから、本学の食物栄養学科と専攻科食物栄養専攻の栄養情報処理教育について記述した。特に専攻科食物栄養専攻の統計分野の教育では、卒論の統計処理で使われるため多重比較を授業に取入れる必要があり、コストや操作性の観点から、Excelアドインとして、ペリの方法とホルムの方法・シェイファーの方法を実装する必要があること述べた。これらの実装により、時間割やカリキュラムに影響を与えずに、教員個人のレベルで教育内容の改善が可能であると判断した。そして、ペリの方法を実際にExcel VBAで開発して、操作方法や結果の表示方法を中心に述べた。

本稿ではそれに続いて、ホルムの方法とシェイファーの方法について記述し、ペリ・ホルム・シェイファーの各多重比較法の評価、まとめ、今後の課題についても述べる。

2. ホルム (Holm) の方法とシェイファー (Shaffer) の方法の実装

以下は、ホルムの方法とシェイファーの方法の実装について述べる。

2.1. 実装にあたっての留意点

学生のデータ分析では、繰返し測定（対応のある一元配置に相当する）データがとられ、繰返し測定データの多重比較をする場合がある。そこで、繰返し測定データの場合、チェック欄にチェックすることとし、文献5)に掲載されているSPSSでのボンフェローニ (Bonferroni) 法による多重比較の結果と一致するようにした。具体的には、統計検定量はt検定同様に平均値の差と標準誤差の商であるが、分母の標準誤差を全ての群（水準）から求めるか、又は対比較対象の2群から求めるかの選択枝がある。ここでは、SPSSの標準に合わせて、対比較対象の2群から求めた。なおボンフェローニ法とは、ホ

ほりた ひろし (食物栄養学科)

ホルムの方法・シェイファーの方法の元になった方法で、 α 値の調整法等に違いがある。

2.2. 操作方法

- (1) メニューバーから「多重比較 (P)」選択後、「ホルム法 (H)」を選択すると、図1のホルムの方法のダイアログ（シェイファーの方法での比較も行う）が表示される。

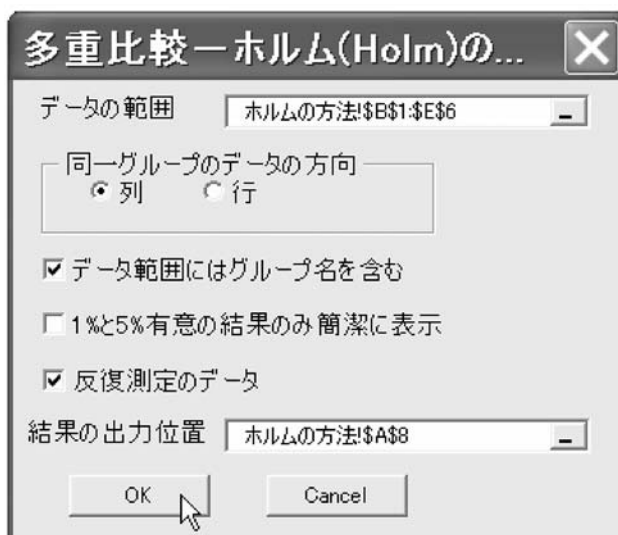


図1 「ホルムの方法・シェイファーの方法」のダイアログ

- (2) 「ホルムの方法・シェイファーの方法」のダイアログをセットし、「OK」を押す。
- ① 「データ範囲にはグループ名を含む」は、「データ範囲」にデータ群に数値以外の名称（グループ名）の文字データを含むときチェックを入れる。
ホルムの方法・シェイファーの方法では、群数（水準数）は50まで可能である。
 - ② 「同一グループのデータの方向」は列方向か行方向かを選択する。
 - ③ 結果は詳細な出力か簡潔な出力か選択できる。これは、「1%と5%有意の結果のみ簡潔に表示」のチェックボックスで選ぶ。
 - ④ 「反復測定データ」は、対応のあるデータの場合（Repeated Measurements One-Factor ANOVA）に相当する時、チェックする。
 - ⑤ 設定ができれば、「OK」ボタンを押下する。

2.3. 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の詳細な結果表示

図2に詳細な結果の表示例を示す。

図2の上側は、ホルムの方法・シェイファーの方法の実行に使ったデータであり、文献5)より引用したものである。その下側の結果出力は、反復測定データ（Repeated Measurements）として多重比較をしてある。このデータは反復測定データではなく、無作為測定データとしてみると、検出力が強いと言われるダネット法で片側検定の場合のみ投与前と1分後が5%有意の判定ができるだけで、他の多重比較法では、無作為測定デー

タとしては5%有意の判定も出ていない例である。

(以下は、使用したデータ)

	投与前	1分後	5分後	10分後
坂本さん	67	92	87	68
牧野さん	92	112	94	90
高橋さん	58	71	69	62
高柳さん	61	90	83	66
安斎さん	72	85	72	69

(以下は、「ホルムの方法・シェイファーの方法」結果出力)

等分散性の検定ーパートレット検定結果													
χ^2 乗値	0.59788	自由度	3	p値(片側)	0.8969	$\times 2$ 境界値(片側)5%	7.81473						
多重比較ーホルムの方法・シェイファーの方法													
	群数	4								調整後 α 値	調整後 α 値		
										ホルム法	シェイファー法 (Hollandの表使用)		
帰無仮説	群名称1	群名称2	ホルム有意	シェイファー有意	t値	平均値差	標準誤差	p値	p値降順	5%有意	1%有意	5%有意	1%有意
{1=2}	投与前	1分後	**	**	-6.262	-20	3.19374	0.00152	5	0.01	0.002	0.01667	0.00333
{1=3}	投与前	5分後			-2.447	-11	4.49444	0.05812	2	0.025	0.005	0.025	0.005
{1=4}	投与前	10分後			-0.632	-1	1.58114	0.55488	1	0.05	0.01	0.05	0.01
{2=3}	1分後	5分後			3.1239	9	2.88097	0.02614	4	0.0125	0.0025	0.01667	0.00333
{2=4}	1分後	10分後	**	**	6.5556	19	2.89828	0.00124	6	0.0083	0.00167	0.00833	0.00167
{3=4}	5分後	10分後			2.9881	10	3.34664	0.03051	3	0.0167	0.00333	0.01667	0.00333

図2 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の詳細結果表示

2.3.1. パートレット (Bartlett) 検定結果出力部

最初2行に3群(水準)以上の等分散性の検定であるパートレット検定の結果が示してある。2行目のp値が0.05より小さい時、等分散の仮定を棄却する。

ホルムの方法・シェイファーの方法は、原理的には多重比較で第1種の過誤を有意水準 α 以内に抑える方法に過ぎない。しかし、本プログラムでは、対比較の標準誤差計算で、群間(水準間)に等分散を仮定し、分散を群間でプールし自由度を単純に加算している。このため等分散でないと、ホルムの方法・シェイファーの方法の適用はできない。

2.3.2. データの概略出力部

データの群数(水準数)や、群ごとのデータ数、平均値、分散などを表示する。

2.3.3. 多重比較ホルムの方法とシェイファーの方法の結果出力部

- (1) 左から1列目は、帰無仮説である。例として「{1=2}」は、データ群(水準)の平均値について「 $\mu_1 = \mu_2$ であるとする帰無仮説」を意味する。
- (2) 左から2・3列目は、群の名称、即ちデータの系列の先頭のセル内の内容である。
- (3) 左から4列目は、ホルムの方法の判定を表す。*は5%有意、**は1%有意である。以下、「*」「**」の意味は同じである。
- (4) 左から5列目は、シェイファーの方法の判定を表す。
- (5) 左から6列目は、検定統計量の値(7列目の値/8列目の値)である。

- (6) 左から7列目は、対比較の2群の平均値の差である。
- (7) 左から8列目は、対比較の2群の平均誤差である。SPSSの標準の結果に合わせるため、対比較対象の2群のデータのみから求めている。
- (8) 左から9列目は、検定統計量の絶対値のt分布でのp値である。
- (9) 左から10列目は、9列目の値の降順順位である。
- (10) 左から11列目は、ホルムの方法での優意水準5%の調整後の α 値である。
- (11) 左から12列目は、ホルムの方法での優意水準1%の調整後の α 値である。
- (12) 左から13列目は、シェイファーの方法での優意水準5%の調整後の α 値である。
- (13) 左から14列目は、シェイファーの方法での優意水準1%の調整後の α 値である。

2.4. 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の簡潔な結果表示

図3に、簡潔な結果の表示例を示す。ホルムの方法、シェイファーの方法とも判定結果のみ示してある。*は5%有意、**は1%有意である。

(以下は、使用したデータ)

	投与前	1分後	5分後	10分後
坂本さん	67	92	87	68
牧野さん	92	112	94	90
高橋さん	58	71	69	62
高柳さん	61	90	83	66
安齋さん	72	85	72	69

(以下は、「ホルムの方法・シェイファーの方法」結果出力)

等分散性の検定ーバートレット検定結果							
χ^2 乗値	0.5978754	自由度	3	p値(片側)	0.89692	χ^2 境界値(片側)5%	7.81473
多重比較ーホルムの方法							
	群数	4					
帰無仮説	群名称1	群名称2	ホルム有意	シェイファー有意			
{1=2}	投与前	1分後	**	**			
{1=3}	投与前	5分後					
{1=4}	投与前	10分後					
{2=3}	1分後	5分後					
{2=4}	1分後	10分後	**	**			
{3=4}	5分後	10分後					

図3 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の簡略結果表示

2.5. プログラム構成概要

Excel上で動作する。VBA (Visual Basic for Applications) で作成し、アドインとして動作する^{6) 7)}。表1にプログラムサイズの表を示す¹⁾。ホルムの方法・シェイファーの方法に関する部分は、独自部分と共用部分を併せて、約520行である。

表1 プログラムサイズ¹⁾

全 体	約 1080 行
ペリの方法独自の部分	約 560 行
ホルムの方法・シェイファーの方法独自の部分	約 430 行
共用部分	約 90 行

2.5.1. メニュー設定部

ペリの方法のメニュー設定部と同じで¹⁾、ブックないしアドインを開くと同時に、メニューバーに「ペリ法」と「ホルム法」のメニューを追加し、閉じると削除する。共用部分である。以下は、断らない限りホルム・シェイファーの方法独自の部分である。

2.5.2. ユーザーフォーム部

Excel上のデータのある部分を選択するなどのユーザーインターフェース部である。UserFormに図1の様にコントロールを配置してある。若干のイベント処理も行う。

2.5.3. 「ホルムの方法・シェイファーの方法」用定数・データ構造定義部

判定結果は、ホルムの方法とシェイファーの方法の両方を保持する必要があるため、結果保持用のデータ構造を定義した。また全対比較のための帰無仮説の総数は $N(N-1)/2$ であり、ペリの方法よりはるかに少ないので、配列サイズもペリの方法よりも少ない。

2.5.4. 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の実行部本体

(1) 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の全体制御部

メニューバーから「ホルム法」が選択されるとこの部分を実行する。以下の(2)～(4)の各モジュールを順次実行する。

(2) データ読み取り部

Excelシートから、データを読み込む。データは行方向・列方向かの指定に応じて読み取る。また「データ範囲にはグループ名を含む」がチェックされた場合は、データ群に付けた名前も読み込む。

(3) 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の実行部

ホルムの方法、シェイファーの方法で多重比較を実行する。対比較に使用する統計量は等分散のt検定の場合とほぼ同じである。文献10)に記載されるように、判定する仮説毎に調整された優意水準 α 値を用いて判定する。対応のあるデータ(Repeated Measurements)の場合は、標準誤差の計算には、比較対象の2群(2水準)のみの分散を使って求めている。これはSPSSの標準に合わせたのである⁵⁾。

(4) 「ホルム方法・シェイファーの方法」の結果の表示部

ホルムの方法、シェイファーの方法の両方を表示する。詳細な表示と簡潔な表示

のどちらか一方が選択されて実行される。

(5) シェイファーの方法での α 値調整のための関数－その1

(3) を実行するための補助関数である。シェイファーの方法を実行する際に呼ばれる。群数（水準数）が2～9の時、ホランド（Holland）とコペンハーバー（Copenhaver）のやり方に基づいて α 値調整のための係数を生成する⁹⁾。

(6) シェイファーの方法での α 値調整のための関数－その2

群数（水準数）が10以上の場合は、一旦 α 値調整のための除数をまとめて生成して配列に保持し、その後、この配列の値を返すようにしている。

付録に、シェイファーの方法（より詳しくはシェイファーのS1と呼ばれる方法）における α 値調整のための除数を示す¹⁰⁾。表7は群数が2～15の、表8は群数が16～21の場合である。群数3～10では文献9)の記述と一致する。 α 値調整のための除数は、同時に成立しうる帰無仮説の最大数を意味し、使い方は以下である。

群数がNの場合、対比較のp値を小さい順に、1, 2, …, $N(N-1)/2$ まで並べ、小さい順に判定し、m回目 ($1 \leq m \leq N(N-1)/2$) の判定では、表の群数Nと表左端と上端付近の欄から回数mに相当する α 値調整のための除数を見つける。判定は対応する検定統計量のp値と、 $\alpha / (\alpha$ 値調整のための除数) を比較してp値がこれ以下の時棄却し、これより大きい時は採択（保留）とする。

2.5.5. 共用部分（メニュー設定部以外）

ペリの方法と「ホルムの方法・シェイファーの方法」で共通して使用する部分である。

- (1) 定数とデータ構造の一部を共通して使用している。
- (2) バートレット検定は、等分散性の検定として共用している。

3. 「ホルムの方法・シェイファーの方法」の実装の議論

3.1. 「ホルムの方法・シェイファー方法」でのレスポンスタイム

表2に、群当たりの平均データ数が7、CPUがAMD Athlon 1.73GHz、RAM 736MBの場合のダイアログ設定後から表示終了までのレスポンスタイムの例を示す。

群数10～15の時、ほぼ同等の条件下で、この結果とペリの方法の詳細結果表示同士を比べると約3～60倍高速であり、簡潔表示同士では約1～6倍高速である¹⁾。

表2 群数（水準数）とレスポンスタイム（秒）の例

群数	10	11	12	13	14	15	16	17	30	50
Excel 2003 詳細結果表示	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	3.1	8.8
Excel 2003 簡潔結果表示	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	2.4	6.9
Excel 2007 詳細結果表示	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.4	2.6	2.9	7.6	20
Excel 2007 簡潔結果表示	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	3.8	11

表2からは「ホルムの方法・シェイファー方法」では、ペリの方法では難しいか困難な群数17~50でも、実用レベルのレスポンスタイムが得られることがわかる。

3.2. ペリの方法と「ホルムの方法・シェイファーの方法」との比較

ホルム・シェイファーの方法の実装を、ペリの方法と比較すると、以下の特徴がある。

ホルム・シェイファーの方法の実装をペリの方法の実装と比べると、再帰呼び出し (Recursive Call) を使っていない等、アルゴリズム上の困難は少なかった。シェイファーの方法の実装は、ホランド・コペンハーバーの表を使用する限りにおいて、ホルムの方法と同様にアルゴリズムが実装上問題となることはない。群数 (水準数) 10以上用に専用の関数を開発したが、それでも困難度がそれほど高くはならなかった。

また使用メモリーについては、帰無仮説の数は、全対比較であっても群数を N として、 $N \times (N-1) / 2$ であり、 N の指数オーダーで増大するペリの方法に比べ、結果を格納するメモリー使用量もずっと少ない。

ただし、シェイファーの方法では、S 1 と呼ばれるやり方をとった。即ち、判定対象にかかわらず同時に成立する仮説の最大数を使用する方法を使用したのだが、S 1 では困難度がそれほど高くはなかった。シェイファーの方法で S 2 と呼ばれるやり方、即ち実際の判定対象に応じて同時成立仮説の最大数を算出して使用する方法の方が検出力が高いことが示されていて、S 2 を実装するのが望ましいのであるが、S 2 のアルゴリズムは極めて複雑である¹⁰⁾。S 2 を使う場合には、シェイファーの方法が、ペリの方法に比べての困難度が少ないとは決して言えない。

3.3. 分散分析

卒論で対応のある一元配置に相当するデータが取られるので、繰り返し測定にも使えるホルムの方法などを実装した。多重比較と分散分析は、直接の関係はない。ただし分散分析を先にして、その後多重比較をすることが、結構慣例として行われている。SPSSでは、分散分析に対応のある一元配置が含まれており多変量分散分析 (MAOVA: Multivariate Analysis of Variance)^{12) 13)}の結果が表示され⁵⁾、ボンフェローニの方法で多重比較できる。仮に先に分散分析する慣例にならう場合、特に統計ソフトがないなら、分散分析はExcelの「分析ツール」で繰り返しのない二元配置を適用して、その後ホルムの方法・シェイファーの方法を使用するのが自然である。なお、多変量分散分析は比較的多くのデータ量があるほうが望ましいという議論があり、卒論でのデータ量はあまり多くないのが実情であり、その適用については気になるところである¹⁴⁾。

3.4. プログラムコードの不掲載

本稿でプログラムコードを不掲載の理由は、「ペリの方法の実装の議論」で記したように、ペリの方法とホルムの方法など含めプログラムリスト全体で約1080行であるが、紙面の都合上、プログラムリスト掲載は行わない。

4. 多重比較「ペリの方法、ホルムの方法・シェイファーの方法」の評価

4.1. ペリの方法、ホルムの方法・シェイファーの方法の検出力について

多重比較法の検出力を詳細に分析するには、多くのテストデータを使うべきであろうが、ここでは、テストデータを1件使って、多重比較法の検出力の傾向を示す。

表3 テストデータ

A1	A2	A3	A4	A5
14	17	18	20	19
15	16	19	21	20
14	17	20	19	19
16	16	19	20	17
15	15	17	19	17
17	18	17	22	17
14	19	-	20	18
-	15	-	-	-

表4 表3のデータに対する多重比較結果 * 5%有意 ** 1%有意

多重比較法		ペリ	ホルム	シェイファー	テューキー	ボンフェローニ	シェフェ	ダネット(≠)	ダネット(≤)	ウィリアムズ
対比較		文献1)	本稿		「エクセル統計2008」(株社会情報サービス製)					
A1	A2	*							*	*
A1	A3	**	**	**	**	**	**	**	**	*
A1	A4	**	**	**	**	**	**	**	**	*
A1	A5	**	**	**	**	**	**	**	**	*
A2	A3	*								
A2	A4	**	**	**	**	**	**			
A2	A5	*								
A3	A4	*		*						
A3	A5									
A4	A5	*	*	*	*	*				

表3に示すテストデータは、文献8)に含まれる例を元に少し変更を加えたものである。表4に多重比較の結果を示す。ペリの方法¹⁾、ホルムの方法、シェイファーの方法が、文献1)と本稿でソフトを開発したもので、他の多重比較法は、(株社会情報サービス製の「エクセル統計2008」を用いて結果を出してある。ウィリアムズ法の判定は、5%有意水準のみで1%有意水準の判定はない仕様である。

- (1) ペリの方法が、ダネット法・ウィリアムズ法を除き、特に検出力が高い。
- (2) このテストデータに限れば、ペリの方法は、ダネット法とウィリアムズ法と同等

に近い検出力があった。特にダネット法の両側検定を上回る検出力を示した。

- (3) シェイファーの方法がホルムの方法より、少し検出力が高い。
- (4) このテストデータに限れば、シェイファーの方法はテューキー法よりも検出力があり、ホルムの方法はテューキー法と同等の検出力があった。
- (5) シェフェ法の検出力は低い。

これらより、ペリの方法の高い検出力が確認できた。検出力は、「ペリの方法」 > 「シェイファーの方法」 > 「ホルムの方法」の順である。

以上より、多重比較はペリの方法で行うのが妥当と判断される。ただし、データにより、適宜、ダネット法、ウィリアムズ法の使用も検討すべきである。

4.2. 対応のあるデータに対するホルムの方法・シェイファーの方法の検出力について

ホルムの方法とシェイファーの方法では、対応のあるデータ (Repeated Measurements) の多重比較が可能にしてあるで、表5のテストデータを使いその検出力を示す。表5のデータは、文献5) に含まれる例を元に少し変更したものである。

表5 対応のあるデータに対するテストデータ

	(投与)前	1分(後)	5分(後)	10分(後)
Aさん	67	92	87	68
Bさん	92	106	94	90
Cさん	58	71	69	62
Dさん	61	90	83	66
Eさん	72	85	88	69

表6 表5のデータに対する多重比較結果 * 5%有意 ** 1%有意

		対応ありの結果			対応のないデータとして多重比較した結果						
多重比較法	対比較	ホルム	シェイファー	ボンフェローニ	ペリ	テューキー	ボンフェローニ	シェフェ	ダネット(≠)	ダネット(≤)	ウィリアムズ
			本稿			推定	1)	「エクセル統計2008」(株)社会情報サービス)			
前	1分	*	**	*						*	
前	5分	*	*								
前	10分										
1分	5分										
1分	10分	**	**	**							
5分	10分	*	*								

表6に多重比較の結果を示す。表5の左側の「対応のある結果」から、シェイファーの方法がホルムの方法よりも検出力が高いことが見てとれる。ホルムの方法の計算結果

からの推定により、ボンフェローニ法の場合も記してある。

表6の右側に参考までに記した「対応のないデータとして多重比較した結果」は、対応のあるデータの多重比較は、対応のないデータに対するよりはるかに高い検出力を示している。例示は1件しかないが、予想通りであり、以下のことがいえるであろう。

- (1) 対応のあるデータの多重比較の検出力は、「シェイファーの方法>ホルムの方法>ボンフェローニ法」の順である。
- (2) 対応のあるデータの多重比較の検出力は、対応のないデータに対する多重比較よりはるかに検出力がある。

SPSSでは対応のあるデータの多重比較にボンフェローニ法を用いているが、本稿で実装したシェイファー・ホルムの方法の方が、検出力は優れている。

4.3. 多重比較の中でのペリの方法、ホルムの方法・シェイファーの方法の位置づけ

以下、パラメトリック検定のみ挙げる。多重比較法のなかで、検出力の観点からペリの方法、ホルムの方法・シェイファーの方法の位置づけを考えることとする。ここでは、「検出力」という言葉を、保守的ではないという意味で使っている。

4.3.1. 3群（3水準）のみの場合

- (1) 検出力は、「ダネット法の片側検定」>「フィッシャーの制約付LSD法」>「ダネット法の両側検定」>「ペリの方法」の順と思われる。
- (2) フィッシャー（Fisher）の制約付最小有意差法（Protected LSD法：Protected Least Significant Difference Method）は、一元配置分散分析で3群の平均値が同じではないとされた後に使う。3群でのみ使用し、4群以上では絶対使わない。
- (3) 3群では、フィッシャーの制約付最小有意差法の使用でよいと思われる。ダネット法、ウィリアムズ法は、それで有意差がでないときのみ検討するとよい。

4.3.2. 対照群と措置群を比較する場合

- (1) 対照群との比較では、「ダネット（Dunnett）の逐次棄却型検定法」>「ダネットの方法」の順で検出力があるといわれている。ダネット法^{15) 16)}は、SPSSで利用可能のはずである。
- (2) ウィリアムズ（Williams）法は、対照群と措置群の比較で、措置群の平均値に明らかに単調増大・減少がある場合検出力が高いが、それ以外の場合有意差がでないことがあり、使いにくい場合がある。
- (3) 対照群と措置群の区別がある場合、一般にはダネット法、ウィリアムズ法がよいとされ、それを使う。ただし、表4で見たようにペリの方法は、ダネット法、ウィリアムズ法に近いか上回る例すらある。ペリの方法で有意差がでないとき、ダネット法、ウィリアムズ法を試すというやり方も考えうる。

4.3.3. 対照群がない場合

- (1) 検出力は「ペリの方法」>「テューキー・ウェルシュの方法」>「テューキーのHSD法」の順であり、ソフトが使えれば、ペリの方法を優先して使うべきである。

- (2) 全対比較では、ペリ (Peritz) の方法が最も検出力が高いとされるが⁸⁾ 17)、SPSSで利用できないと思われる。
- (3) テューキー・ウェルシュ (Tukey-Welsh) の方法は、SPSSでは、「R-E-G-W (Ryan, Einot, Gabriel and Welschの方法)」のFまたはQと表示される。「R-E-G-WのF」が、「R-E-G-WのQ」より極わずかだが検出力は高そうである。テューキー (Turkey) の方法もSPSSで利用である。
- (4) テューキー法は、テューキーのHSD (Honestly Significant Difference) 法と呼ばれることがある。古くからよく使用されている方法である。SPSSに含まれる。

4.3.4. データ間に相関がある可能性がある場合

- (1) 検出力は、「シェイファーの方法のS 2」>「シェイファーの方法のS 1」>「ホルムの方法」>「ボンフェローニの方法」である¹¹⁾。
- (2) データに相関があってもよく、対応のあるデータ (Repeated Measurements) では表6にあるように検出力は高く、シェイファーの方法を使うべきであろう。
- (3) データに相関がない一般の場合には、テューキーのHSD法より検出力が劣るといわれるので、ペリの方法を優先して使用するべきである。ただし、表6にあるように、シェイファーの方法がテューキーのHSD法を上回る例もありうる。
- (4) シェイファーの方法には、S 1とS 2があり、本稿はS 1を実装している。
- (5) ホルムの方法は、Rでは多重比較の標準とされたとされ、ホルムの方法がよいと推奨する本も存在するが¹⁷⁾、ここでは(1)(2)の通り判断する。
- (6) ボンフェローニの方法は、ホルム法、シェイファー法の基礎となった多重比較法で、SPSSの対応のある一元配置での多重比較の標準である。
- (7) 個々の対比較にはt分布を使用し、基本的にはExcelでも実行可能である。

4.3.5. 使用禁止など

数学的に正しくないためダンカン (Dunnccan) の方法とそれに関連した方法が、3群以外ではフィッシャーの制約付きLSD法とニューマン・コイルズ (Newman-Keuls) 法が、使用禁止とされる。ペリ・ホルム・シェイファーの方法に、そのような制約はない。

5. まとめ

専攻科食物栄養専攻の栄養情報処理教育については、統計分野に限定すると、実際に卒論で必要な3群以上のデータ間で全対比較の教育が行われていなかったため、実用的な授業にするには、多重比較の取り入れることが不可欠であると考えた。コストや使用方法習得の簡易さから、Excel上のアドインとして開発した。

多重比較のなかでも、対照群を必要としない多重比較のなかで検出力が最もよいとされるペリの方法を実装した。また、対応のある一元配置に相当しデータ間に相関がある可能性のあるデータも取られているので、ホルムの方法・シェイファーの方法も実装した。

実際、ペリの方法の検出力の高さを確認した。対応のあるデータについては、シェイファーの方法、ホルムの方法で検出力の高い多重比較ができた。これまで述べてきたとおりである。

ちなみにSPSSバージョン17での多重比較では、ペリの方法、ホルムの方法、シェイファーの方法は実装されていないようである。また、Rではペリの方法・シェイファーの方法は標準では実装されていないようである。本稿では、多重比較法ではタネット法・ウィリアムズ法を除き検出力が最も高いとされる「ペリの方法」を、有力商用統計ソフトやオープンソース系ソフトに先んじて、Excel 2003/2007に実装したことになる。繰返しのあるデータでは有力商用統計ソフトに先んじて、ホルムの方法・シェイファーの方法をExcel 2003/2007に実装したことになる。

6. 今後の課題

今後の課題としては、以下のことが考えられる。

6.1. シェイファーの方法の検出力の向上

既に記したことだが、シェイファーの方法の実装ではS 1と呼ばれる方法を使ったが、より検出力を増すためS 2を使う方法が考案されている^{10) 11)}。それらの方法を組み込むことでより検出力の向上が期待できるので、それを実装するのが課題である。

6.2. 信頼区間の見積りの追加

テューキーの方法を用いる統計ソフトでは、仮説検定が行う際、信頼区間の見積りも実行するものがある⁵⁾。α値の調整がないテューキーの方法では行われて当然だが、α値の調整があるボンフェローニの方法でも、信頼区間を出力する統計ソフトがある。ペリの方法では、対比較の場合はボンフェローニの方法と同様に、同一の調整済α値を使用し、信頼区間の導出は可能と思われ、信頼区間出力の拡張が望まれる。一方ホルム・シェイファーの方法では対比較毎にα値調整が異なり、信頼区間の意味に疑問が残る。

6.3. ノンパラメトリックな多重比較の追加

ノンパラメトリックな多重比較法用のソフトで、授業で使用可能のものが無い。ノンパラメトリックな方法には、誤差の正規性や等分散の仮定等を前提としないものもあり、質的データを扱えたりして、適用しやすい場合がある。この方法では、一部の例ではソートや順位付けが多用されるが、コンピュータでは定番の処理である。またノンパラメトリックを含む栄養情報処理の教科書¹⁸⁾や統計ソフトの付属する書籍も存在する¹⁹⁾。今後ノンパラメトリック多重比較法を検討し⁸⁾、可能ならExcelで実装し、授業に取込むのが望ましいと考える。

6.4. 多重比較教育の効果の評価

実装した「ペリの方法」¹⁾「ホルムの方法とシェイファーの方法」とも卒論での統計処理を念頭に入れ、授業で取入れるために開発したのである。よって効果の有無については、当該授業後に卒論等でどのように役立ったか調査する必要がある。

付録. シェイファーの方法での α 値調整のための除数

表 7 群数 2 ~15の場合のShafferの方法での α 値調整のための除数

群の数	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																																													
順位	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	51	1	51	1	51	1	51	101																																									
順位比	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{150}$																																									
昇較	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	100	50	100	50	100	50	100	150																																									
1	1	3	6	10	15	21	28	36	45	55	5	66	16	78	28	91	40	105	55	5																																							
2		1	3	6	10	15	21	28	36	45	4	55	15	66	27	78	40	91	51	4																																							
3			1	3	6	10	15	21	28	36	45	3	55	14	66	26	78	39	91	51	3																																						
4				1	3	6	10	15	21	28	36	45	2	55	13	66	25	78	38	91	51	2																																					
5					1	3	6	10	15	21	28	36	45	1	55	12	66	24	78	37	91	51	1																																				
6						1	4	10	15	21	28	36	45		55	11	66	23	78	36	91	49																																					
7							1	4	10	15	21	28	36	45		55	10	66	22	78	35	91	49																																				
8								1	4	10	15	21	28	36	45		55	9	66	21	78	34	91	48																																			
9									1	4	10	15	21	28	36	45		55	8	66	20	78	32	91	47																																		
10										1	4	10	15	21	28	36	45		55	7	66	19	78	32	91	46																																	
11											1	4	10	15	21	28	36	45		55	6	66	18	78	31	91	45																																
12												1	4	10	15	21	28	36	45		55	5	66	17	78	30	91	43																															
13													1	4	10	15	21	28	36	45		55	4	66	16	78	29	91	43																														
14														1	4	10	15	21	28	36	45		55	3	66	15	78	28	91	42																													
15															1	4	10	15	21	28	36	45		55	2	66	14	78	27	91	40																												
16																1	4	10	15	21	28	36	45		55	1	66	13	78	26	91	40																											
17																	1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	12	78	25	91	39																										
18																		1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	11	78	24	91	38																									
19																			1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	10	78	23	91	37																								
20																				1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	9	78	22	91	36																							
21																					1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	8	78	21	91	35																						
22																						1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	7	78	20	91	34																					
23																							1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	6	78	19	91	33																				
24																								1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	5	78	18	91	32																			
25																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	4	78	17	91	31																		
26																										1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	3	78	16	91	30																	
27																											1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	2	78	15	91	29																
28																												1	4	10	15	21	28	36	45		55		66	1	78	14	91	28															
29																														1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	13	91	27													
30																																1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	12	91	26											
31																																	1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	11	91	25										
32																																		1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	10	91	24									
33																																			1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	9	91	23								
34																																				1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	8	91	22							
35																																					1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	7	91	21						
36																																						1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	6	91	20					
37																																							1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	5	91	19				
38																																								1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	4	91	18			
39																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	3	91	17		
40																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	2	91	16		
41																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78	1	91	15		
42																																										1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	14	
43																																										1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	13	
44																																										1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	12	
45																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	11		
46																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	10		
47																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	9		
48																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	8		
49																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	7		
50																																									1	4	10	15	21	28	36	45		55		66		78		91	6		

表8 群数16~21の場合のShafferの方法での α 値調整のための除数

群の数	16			17			18			19				20				21				
	1	51	101	1	51	101	1	51	101	1	51	101	151	1	51	101	151	1	51	101	151	201
	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵
昇較	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	250
1	120	69	20	136	84	36	153	97	53	171	121	71	21	190	139	90	40	210	156	109	60	10
2	105	69	19	120	84	35	136	97	52	153	120	70	20	171	139	89	39	190	156	109	59	9
3	105	68	18	120	84	34	136	97	51	153	111	69	19	171	137	88	38	190	156	108	58	8
4	105	67	17	120	81	33	136	97	50	153	111	68	18	171	137	87	37	190	156	107	57	7
5	105	66	16	120	81	32	136	97	49	153	111	67	17	171	136	85	36	190	156	106	56	6
6	105	65	15	120	81	31	136	97	48	153	111	66	16	171	126	85	35	190	154	105	55	5
7	105	61	14	120	80	30	136	97	47	153	111	65	15	171	126	84	34	190	154	102	54	4
8	105	61	13	120	79	29	136	94	46	153	111	64	14	171	126	83	33	190	153	102	53	3
9	105	61	12	120	78	28	136	94	45	153	111	63	13	171	126	82	32	190	142	102	52	2
10	105	61	11	120	76	27	136	94	44	153	111	62	12	171	126	81	31	190	142	101	51	1
11	105	60	10	120	76	26	136	93	43	153	111	61	11	171	126	80	30	190	142	100	50	
12	105	59	9	120	72	25	136	92	42	153	108	60	10	171	126	79	29	190	142	99	49	
13	105	58	8	120	72	24	136	91	41	153	108	59	9	171	126	78	28	190	142	98	48	
14	105	57	7	120	72	23	136	88	40	153	108	58	8	171	126	77	27	190	142	97	47	
15	105	56	6	120	72	22	136	88	39	153	107	57	7	171	126	76	26	190	142	96	46	
16	105	55	5	120	70	21	136	88	38	153	106	56	6	171	123	75	25	190	142	95	45	
17	92	52	4	120	70	20	136	84	37	153	105	55	5	171	123	74	24	190	142	94	44	
18	92	52	3	106	69	19	136	84	36	153	101	54	4	171	123	73	23	190	142	93	43	
19	92	52	2	106	68	18	121	84	35	153	101	53	3	171	122	72	22	190	142	92	42	
20	92	51	1	106	67	17	121	84	34	137	101	52	2	171	121	71	21	190	139	91	41	
21	92	49		106	66	16	121	82	33	137	101	51	1	154	120	70	20	190	139	90	40	
22	92	49		106	65	15	121	82	32	137	97	50		154	115	69	19	172	139	89	39	
23	92	48		106	64	14	121	81	31	137	97	49		154	115	68	18	172	138	88	38	
24	92	47		106	62	13	121	80	30	137	97	48		154	115	67	17	172	137	87	37	
25	92	46		106	62	12	121	79	29	137	97	47		154	115	66	16	172	136	86	36	
26	92	45		106	61	11	121	78	28	137	95	46		154	115	65	15	172	130	85	35	
27	92	44		106	60	10	121	76	27	137	95	45		154	111	64	14	172	130	84	34	
28	92	43		106	59	9	121	76	26	137	94	44		154	111	63	13	172	130	83	33	
29	92	42		106	58	8	121	73	25	137	93	43		154	111	62	12	172	130	82	32	
30	91	41		106	57	7	121	73	24	137	92	42		154	111	61	11	172	130	81	31	
31	81	40		106	56	6	121	73	23	137	91	41		154	109	60	10	172	130	80	30	
32	81	39		105	55	5	121	72	22	137	88	40		154	109	59	9	172	126	79	29	
33	81	38		94	54	4	121	70	21	137	88	39		154	108	58	8	172	126	78	28	
34	81	37		94	52	3	120	70	20	137	88	38		154	107	57	7	172	126	77	27	
35	81	36		94	52	2	108	69	19	137	87	37		154	106	56	6	172	126	76	26	
36	81	35		94	51	1	108	68	18	136	85	36		154	105	55	5	172	124	75	25	
37	81	34		94	50		108	67	17	123	85	35		154	101	54	4	172	124	74	24	
38	81	33		94	49		108	66	16	123	84	34		153	101	53	3	172	123	73	23	
39	81	32		94	48		108	65	15	123	83	33		139	101	52	2	172	122	72	22	
40	81	31		94	47		108	64	14	123	82	32		139	101	51	1	171	121	71	21	
41	79	30		94	46		108	62	13	123	81	31		139	99	50		156	120	70	20	
42	79	29		94	45		108	62	12	123	80	30		139	99	49		156	115	69	19	
43	78	28		94	44		108	61	11	123	79	29		139	98	48		156	115	68	18	
44	72	27		92	43		108	60	10	123	78	28		139	97	47		156	115	67	17	
45	72	26		92	42		108	59	9	123	77	27		139	95	46		156	115	66	16	
46	72	25		91	41		108	58	8	123	76	26		139	95	45		156	115	65	15	
47	72	24		84	40		106	57	7	123	75	25		139	94	44		156	112	64	14	
48	72	23		84	39		106	56	6	123	73	24		139	93	43		156	112	63	13	
49	72	22		84	38		105	55	5	123	73	23		139	92	42		156	112	62	12	
50	69	21		84	37		97	54	4	121	72	22		139	91	41		156	111	61	11	

参考文献

- 1) 堀田裕史：“栄養情報処理教育のための統計ツールのVBAによる実装Ⅰ：－多重比較Peritz法の実装など－”、富山短期大学紀要、Vol.44、pp.23－37（2009）
- 2) 井ノ口美佐子：“管理栄養士養成学科の情報処理科目で行う 統計リテラシー教育の試み”、日本統計学会統計教育部会第1回統計教育の方法論ワークショップ（2005）、
<http://stat.scikagoshima-u.ac.jp/SESJSS/data/index.html>（2008/10/18現在）
- 3) 友竹浩之他：“今後の（管理）栄養士教育に必要な栄養情報処理演習の教育効果－アンケート調査より－”、大学教育研究ジャーナル、Vol. 2、pp.66－70（2005）
- 4) 友竹浩之、栢下淳、早川麻理子、太田房雄：“栄養士現場で必要とされる情報処理技術に関する調査”、日本栄養司会雑誌、Vol.47、No.10、pp.32－35（2004）
- 5) 石村貞夫：『SPSSによる分散分析と多重比較の手順 第3版』、東京図書（2006）
- 6) 国本温子、緑川吉行他：『できる大辞典 Excel VBA』、インプレスジャパン（2008）
- 7) 株C & R研究所：『超図解 Excel VBAハンドブック』、エクスメディア（2004）
- 8) 永田靖、吉田道弘：『統計的多重比較法の基礎』、サイエンティスト社（1997）
- 9) Holland, B. S. and Copenhaver, M.D.：“An Improved sequentially rejective Bonferroni test procedure”、Biometrics、Vol.43、pp.417－423（1987）
- 10) Shaffer, J. P.：“Modified sequentially rejective multiple test procedures”、J. Amer. Statist. Assoc.、Vol.81、pp.826－831（1986）
- 11) John R. Donoghue：“Implementing Shaffer's multiple comparison procedure for a large number of groups”、Recent Developments in Multiple Comparison Procedures (Institute of Mathematical Statistics Lecture Notes－Monograph Series Vol.47)、pp.1－23（2004）
- 12) 田中豊、垂水共之、脇本和昌：『パソコン統計解析ハンドブックⅤ 多変量分散分析・線形モデル編』、共立出版（1990）
- 13) 君山由良：『統計解説書シリーズ A-16 多変量回帰分析・正純相関分析・多変量分散分析』、データ分析研究所（2006）
- 14) 入野野宏：『心理生理学データの分散分析』、心理生理学と精神生理学、Vol.22、No. 3、pp.275－290（2004）
- 15) Charles W. Dunnett：“A Multiple Comparison Procedure for Comparing Several Treatments with a Control”、American Statistical Association Journal、Vol.50、pp.1096－1121（1955）
- 16) 広津千尋：『医学・薬学データの統計解析 データの整理から交互作用多重比較まで』、東京大学出版会（2004）
- 17) 中澤港：『Rによる統計解析の基礎』、ピアソン・エジュケーション（2003）

- 18) 水上茂樹編、水上茂樹他著：『栄養情報処理論』、講談社サイエンティフィック
(2004)
- 19) 柳井久江：『4 Steps エクセル統計 第2版』、オーエスエス出版 (2004)
(平成20年10月30日受付、平成20年10月31日受理)