

[教材研究]

## HAD を用いた 3 要因分散分析 (2) Three-way Analysis of Variance using HAD (2)

一丸 彩 (久留米大学大学院 心理学研究科)

### 1. はじめに

一丸<sup>[1]</sup>では、森・吉田<sup>[2]</sup>のデータを用いて、統計分析ソフト HAD<sup>[3]</sup>で 3 要因分散分析を行う方法について解説した。まず、ABCs (3 要因参加者間), ABsC (2 要因参加者間, 1 要因参加者内), AsBC (1 要因参加者間, 2 要因参加者内), sABC (3 要因参加者内) のそれぞれのデータセットの作り方とモデリングを示した。次に、ABCs で実行した結果を例に、3 要因分散分析の基本的な心理統計学の手法を解説し、最後に、本データの分析結果の論文への記載例を示した。そこで本稿では、ABsC (2 要因参加者間, 1 要因参加者内), AsBC (1 要因参加者間, 2 要因参加者内), sABC (3 要因参加者内) の分析方法とその結果の記載方法について解説する。HAD のダウンロードについては清水氏の Web サイト (<http://norimune.net/had>) を、基本的な使い方については小宮・布井<sup>[4]</sup>をご参照いただきたい。

なお、データセットの作り方と HAD でのモデリングの仕方については、3 要因分散分析を実行する上で重要であるため、一丸<sup>[1]</sup>を再掲している。

### 2. データセットの作り方

図 1 は、A 要因 2 水準, B 要因 2 水準, C 要因 3 水準の 3 要因分散分析用のデータを Excel に入力したものである。このデータを、ABCs (3 要因参加者間), ABsC (2 要因参加者間, 1 要因参加者内), AsBC (1 要因参加者間, 2 要因参加者内), sABC (3 要因参加者内) のデータと見なして分析していく。実験計画によって、データセットの作り方が異なる。それぞれのデータセットを図 2 に示す。

ID	A1						A2					
	B1			B2			B1			B2		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
1	2	5	9	6	3	6	1	2	1	5	5	5
2	6	7	10	6	6	7	2	1	5	3	6	5
3	5	9	13	8	5	5	5	4	3	4	6	9
4	7	9	14	10	8	6	2	5	5	6	7	7

図 1 3 要因分散分析データ例 (森・吉田<sup>[2]</sup>より)

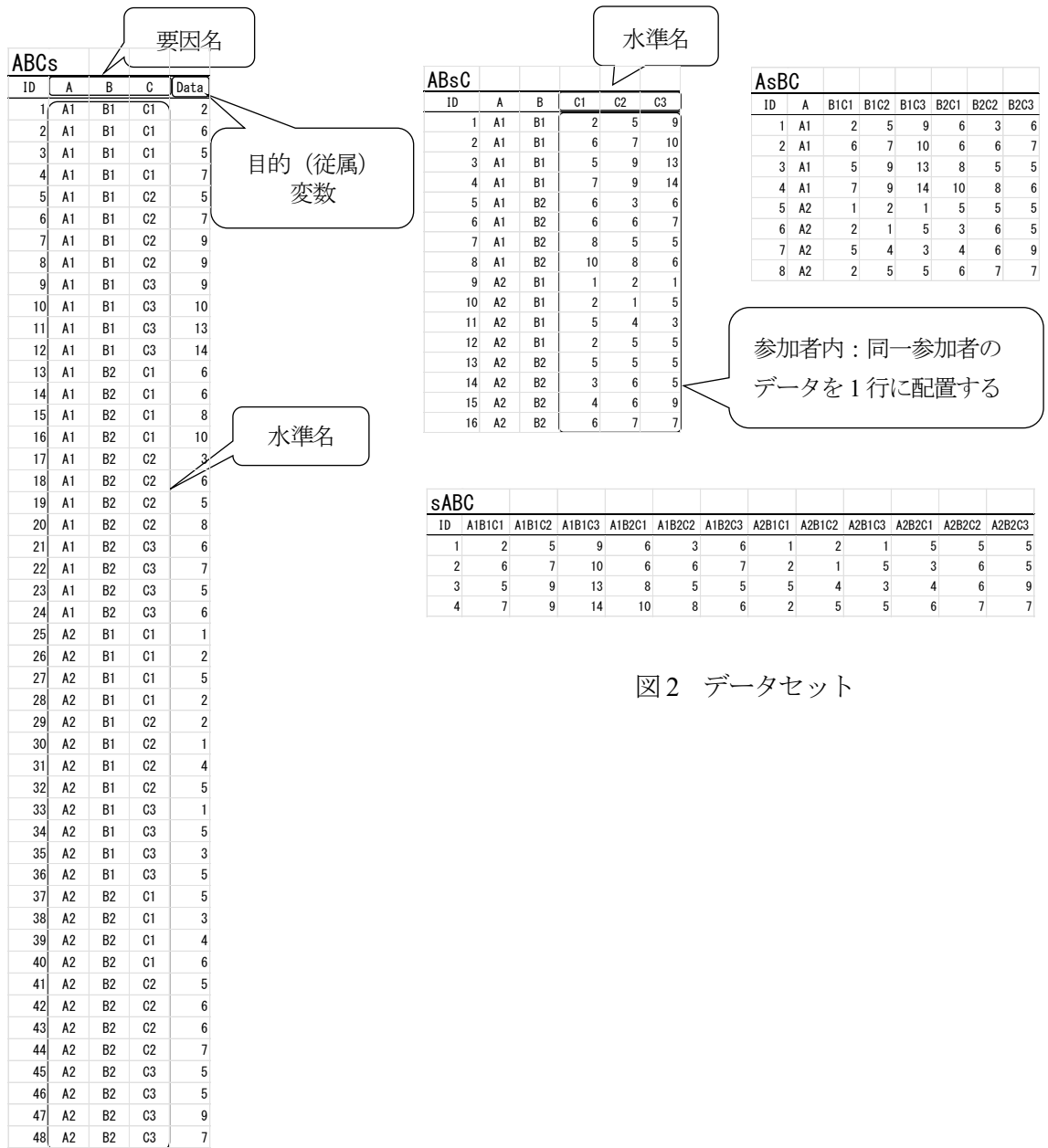


図2 データセット

### 3. HAD でのモデリング

図3-1～図3-4に、ABCs, ABsC, AsBC, sABCのそれぞれをHADでモデリングしたものを示す。参加者内要因については、反復測定に水準数を入れる。なお、参加者内要因が1要因の場合は水準数が明白であるため、水準数を入れなくてもよい。

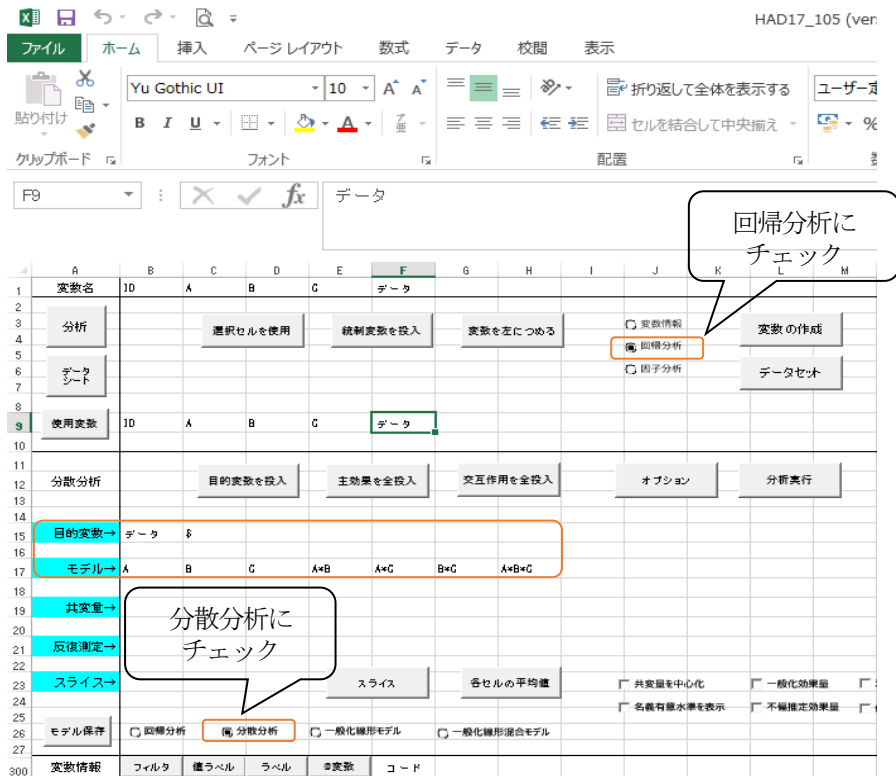


図3-1 ABCs (3 要因参加者間) モデリング

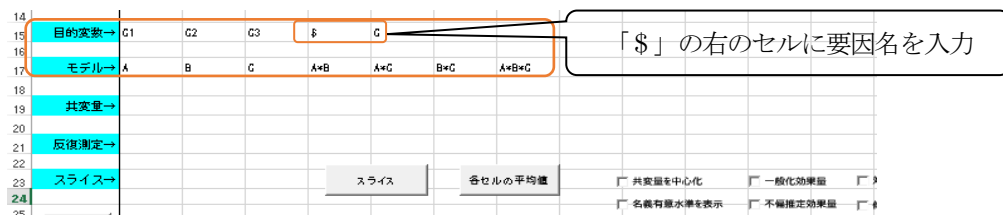


図3-2 ABsC (2 要因参加者間, 1 要因参加者内) モデリング



図3-3 AsBC (1 要因参加者間, 2 要因参加者内) モデリング

14	目的変数→	A1B1C1	A1B1C2	A1B1C3	A1B2C1	A1B2C2	A1B2C3	A2B1C1	A2B1C2	A2B1C3	A2B2C1	A2B2C2	A2B2C3
15	モデル→	A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C					
18	共変量→												
20	反復測定→	2	2	3									
21	スライス→												

参加者内要因 (A, B, C) の水準数を入れる

図 3-4 sABC (3 要因参加者内) モデリング

#### 4. グラフ表示

図 4 に、平均と標準誤差のグラフを示す。このグラフは B の各群 (B1, B2) と C の条件別 (C1, C2, C3) に A1 と A2 の Data の平均と標準誤差を示したものである。HAD では、誤差バーは標準誤差を示している。グラフは Excel の機能を使って作られているため、誤差バーを標準偏差に変更することもできる。

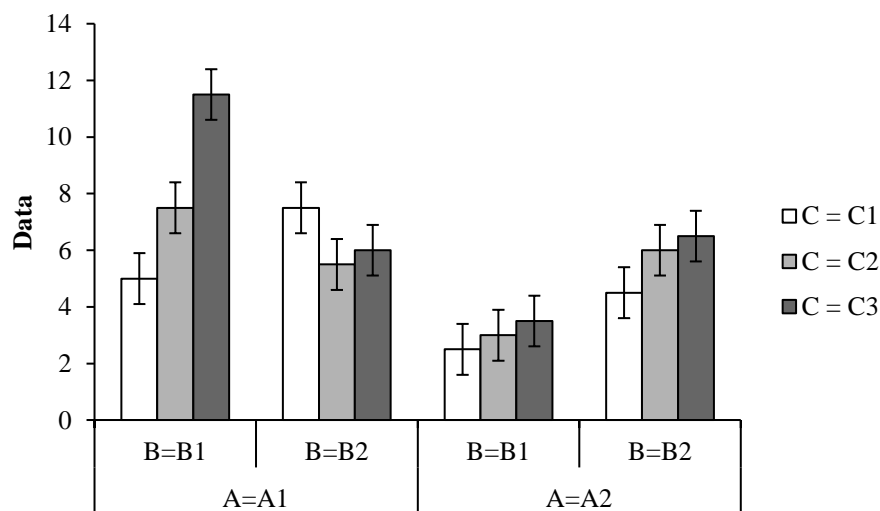
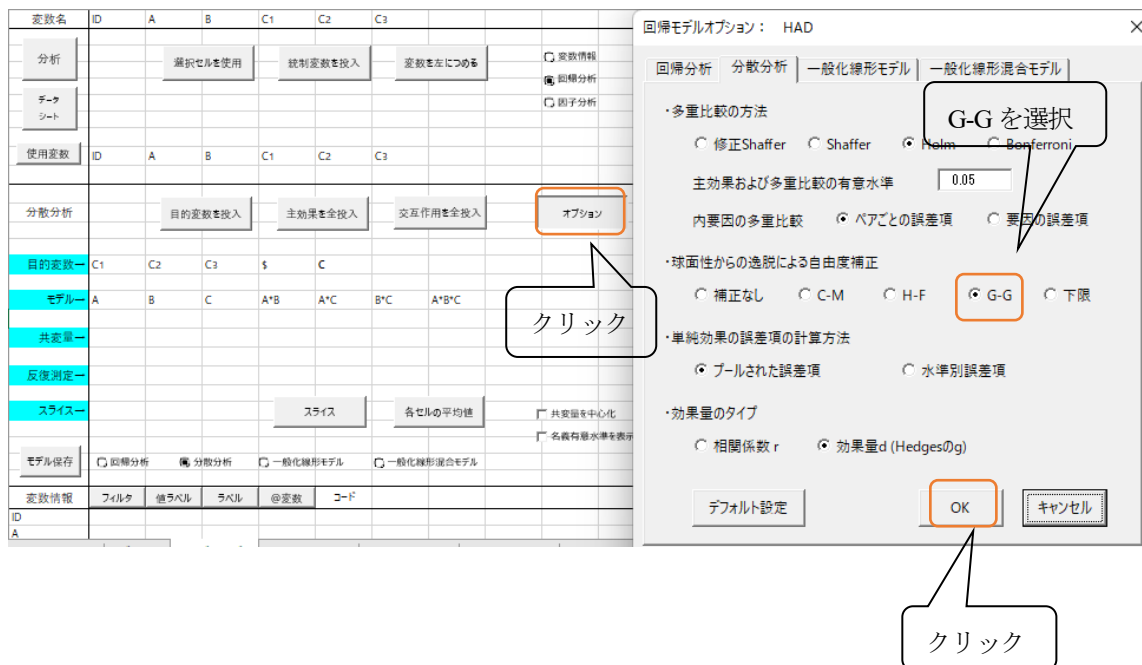


図 4 A 要因別の各群の平均と標準誤差

## 5. 球面性の検定

参加者内要因で3水準以上の要因については Mauchly の球面性の検定を行う必要がある。球面性の仮定とは、反復測定による分散分析において、参加者内要因の各水準間の差の分散がすべて等しいという仮定であり、分散分析が正しく計算されるための条件の一つである。1に近いほど球面性が満たされており、0に近づくほど球面性から逸脱していることを意味する。また、球面性から逸脱した場合は、 $\epsilon$  (イプシロン) という統計量を使い、自由度をイプシロンで調整した値を用いて  $p$  値を求める必要がある。HAD の補正の方法には、Chi-Muller (C-M), Greenhouse-Geisser (G-G), Huynh-Feldt (H-F), 下限がある。本稿では、G-G を選択して補正を行う。なお、Mauchly の球面性の検定については、井関<sup>9)</sup>がわかりやすい。



## 6. 分散分析表

### 6-1 ABsC

表1に、2要因参加者間、1要因参加者内の結果を示す。Aの主効果 ( $F(1,12)=15.622, p=.002$ ), Cの主効果 ( $F(2,24)=9.571, p=.001$ ), およびA\*Bの1次の交互作用 ( $F(1,12)=9.135, p=.011$ ), B\*Cの1次の交互作用 ( $F(2,24)=7.000, p=.007$ ) が有意であった。さらに、A\*B\*Cの2次の交互作用 ( $F(2,24)=11.762, p=.001$ ) も有意となった。なお、表中の偏  $\eta^2$  は効果量を、95%CIは効果量の95%信頼区間を示している。

表 1 ABsC の分散分析表

変数名	SS	MS	MSe	偏 $\eta^2$	95%CI	F値	df1	df2	p値
A	96.333	96.333	6.167	.566	.108, .720	15.622	1	12	.002
B	3.000	3.000	6.167	.039	.000, .306	0.486	1	12	.499
C	33.500	16.750	1.750	.444	---	9.571	2	24	.002
A*B	56.333	56.333	6.167	.432	.027, .635	9.135	1	12	.011
A*C	6.167	3.083	1.750	.128	---	1.762	2	24	.199
B*C	24.500	12.250	1.750	.368	---	7.000	2	24	.007
A*B*C	41.167	20.583	1.750	.495	---	11.762	2	24	.001

表 1 を誤差項が分かりやすいように書き直した表が表 2 である。主効果 A, 主効果 B, 交互作用 A×B の誤差項は誤差 S (AB) を用いる。同様に, 主効果 C, 交互作用 A×C, 交互作用 B×C, 交互作用 A×B×C の誤差項は誤差 C×S (AB) を用いる。

表 2

変動因	SS	df	MS	F
1. 主効果：A	96.33	1	96.33	15.61
2. 主効果：B	3.00	1	3.00	0.49
3. 交互作用：A×B	56.34	1	56.34	9.13
4. 誤差：S (AB)	74.00	12	6.17	
5. 主効果：C	33.50	2	16.75	9.57
6. 交互作用：A×C	6.17	2	3.09	1.77
7. 交互作用：B×C	24.50	2	12.25	7.00
8. 交互作用：A×B×C	41.16	2	20.58	11.76
9. 誤差：C×S (AB)	42.00	24	1.75	
全体：T	377.00			

### 球面性の検定の結果

表 3 は, 球面性の検定の結果を示したものである。球面性の検定の結果, 有意ではなかった (C:  $\chi^2(2)=2.212, p=.331$ )。有意である場合は, 自由度に G-G の値をかけて値を算出することになる。

表 3

変数名	W	$\chi^2$ 値	df	p値	C-M	H-F	G-G	下限
C	.818	2.212	2	.331	.896	.970	.846	.500

### 6-2 AsBC

表 4 に, 1 要因参加者間, 2 要因参加者内の結果を示す。A の主効果 ( $F(1,6)=8.758, p=.025$ ), C の主効果 ( $F(2,12)=25.125, p<.001$ ), および A\*B の 1 次の交互作用 ( $F(1,6)=42.250, p=.001$ ), A\*C の 1 次の交互作用 ( $F(2,12)=4.625, p=.049$ ), B\*C の 1 次の交互作用 ( $F(2,12)=4.324, p=.048$ ) が有意であった。さらに, A\*B\*C の 2 次の交互作用 ( $F(2,12)=7.265, p=.013$ ) も有意となった。

表4 AsBCの分散分析表

変数名	SS	MS	MSe	偏 $\eta^2$	95%CI	F値	df1	df2	p値
A	96.333	96.333	11.000	.593	.000, .787	8.758	1	6	.025
B	3.000	3.000	1.333	.273	---	2.250	1	6	.184
C	33.500	16.750	0.667	.807	---	25.125	2	12	.000
A*B	56.333	56.333	1.333	.876	---	42.250	1	6	.001
A*C	6.167	3.083	0.667	.435	---	4.625	2	12	.049
B*C	24.500	12.250	2.833	.419	---	4.324	2	12	.048
A*B*C	41.167	20.583	2.833	.548	---	7.265	2	12	.013

表4を誤差項が分かりやすいように書き直した表が表5である。主効果Aの誤差項は誤差S(A)、主効果B、交互作用A×Bの誤差項は誤差B×S(A)を用いる。また、主効果C、交互作用A×Cの誤差項は、誤差C×S(A)、交互作用B×C、交互作用A×B×Cの誤差項は誤差B×C×S(A)を用いる。

表5

変動因	SS	df	MS	F
1. 主効果：A	96.33	1	96.33	8.76
2. 誤差：S(A)	66.00	6	11.00	
3. 主効果：B	3.00	1	3.00	2.26
4. 交互作用：A×B	56.34	1	56.34	42.36
5. 誤差：B×S(A)	8.00	6	1.33	
6. 主効果：C	33.50	2	16.75	25.00
7. 交互作用：A×C	6.17	2	3.09	4.61
8. 誤差：C×S(A)	8.00	12	0.67	
9. 交互作用：B×C	24.50	2	12.25	4.33
10. 交互作用：A×B×C	41.16	2	20.58	7.27
11. 誤差：B×C×S(A)	34.00	12	2.83	
全体：T	377.00	47		

#### 球面性の検定の結果

表6は、球面性の検定の結果を示したものである。球面性の検定の結果、有意ではなかった(C： $\chi^2(2)=1.988$ ,  $p=.370$ ; B\*C： $\chi^2(2)=0.009$ ,  $p=.638$ )。有意である場合は、自由度にG-Gの値をかけてp値を算出することになる。

表6

変数名	W	$\chi^2$ 値	df	p値	C-M	H-F	G-G	下限
B	1.000	0.000	0	---	1.000	1.000	1.000	1.000
C	.672	1.988	2	.370	.684	.950	.753	.500
B*C	.835	0.900	2	.638	.842	1.170	.859	.500

## 6-3 sABC

表 7 に、3 要因参加者内の結果を示す。A の主効果 ( $F(1,3)=51.000$ ,  $p=.006$ ), C の主効果 ( $F(2,6)=60.300$ ,  $p<.001$ ), および A\*B の 1 次の交互作用 ( $F(1,3)=101.400$ ,  $p=.002$ ), B\*C の 1 次の交互作用 ( $F(2,6)=5.378$ ,  $p=.047$ ) が有意であった。また、A\*B\*C の 2 次の交互作用 ( $F(2,6)=6.074$ ,  $p=.067$ ) は有意傾向であった。

表 7 sABC の分散分析表

変数名	SS	MS	MSe	偏 $\eta^2$	95%CI	F値	df1	df2	p値
A	96.333	96.333	1.889	.944	---	51.000	1	3	.006
B	3.000	3.000	2.111	.321	---	1.421	1	3	.319
C	33.500	16.750	0.278	.953	---	60.300	2	6	.000
A*B	56.333	56.333	0.556	.971	---	101.400	1	3	.002
A*C	6.167	3.083	1.056	.493	---	2.921	2	6	.162
B*C	24.500	12.250	2.278	.642	---	5.378	2	6	.047
A*B*C	41.167	20.583	3.389	.669	---	6.074	2	6	.067

表 7 を誤差項が分かりやすいように書き直した表が表 8 である。主効果 A の誤差項は誤差 A×S, 主効果 B の誤差項は誤差 B×S, 主効果の誤差項は誤差 C×S を用いる。また、交互作用 A×B の誤差項は誤差 A×B×S, 交互作用 A×C の誤差項は誤差 A×C×S, 交互作用 B×C の誤差項は誤差 B×C×S, 交互作用 A×B×C の誤差項は、誤差 A×B×C×S を用いる。

表 8

変動因	SS	df	MS	F
実験参加者：S	60.33	3	20.11	
1. 主効果：A	96.33	1	96.33	50.97
2. 誤差：A×S	5.67	3	1.89	
3. 主効果：B	3.00	1	3.00	1.42
4. 誤差：B×S	6.34	3	2.11	
5. 主効果：C	33.50	2	16.75	59.82
6. 誤差：C×S	1.67	6	0.28	
7. 交互作用：A×B	56.34	1	56.34	102.44
8. 誤差：A×B×S	1.66	3	0.55	
9. 交互作用：A×C	6.17	2	3.09	2.92
10. 誤差：A×C×S	6.33	6	1.06	
11. 交互作用：B×C	24.50	2	12.25	5.37
12. 誤差：B×C×S	13.66	6	2.28	
13. 交互作用：A×B×C	41.16	2	20.58	6.07
14. 誤差：A×B×C×S	20.34	6	3.39	
全体：T	377.00	47		

## 球面性の検定の結果

表 9 は、球面性の検定の結果を示したものである。球面性の検定の結果、有意ではなかった ( $C:\chi^2(2)=0.279$ ,  $p=.870$ ;  $A*C:\chi^2(2)=1.224$ ,  $p=.542$ ;  $B*C:\chi^2(2)=0.033$ ,  $p=.984$ ;  $A*B*C:\chi^2(2)=1.455$ ,  $p=.483$ )。有意である場合は、自由度に G-G の値をかけて p 値を算出することになる。



表 9

変数名	W	$\chi^2$ 値	df	p値	C-M	H-F	G-G	下限
A	1.000	0.000	0	---	1.000	1.000	1.000	1.000
B	1.000	0.000	0	---	1.000	1.000	1.000	1.000
C	.870	0.279	2	.870	.500	2.065	.885	.500
A*B	1.000	0.000	0	---	1.000	1.000	1.000	1.000
A*C	.542	1.224	2	.542	.500	1.071	.686	.500
B*C	.984	0.033	2	.984	.500	2.845	.984	.500
A*B*C	.483	1.455	2	.483	.500	.974	.659	.500

単純主効果, 単純・単純主効果および多重比較を HAD で実行する方法と結果の記載の方法については, 一丸<sup>[1]</sup>をご参照いただきたい。

## 7. おわりに

本稿では, 森・吉田<sup>[3]</sup>のデータを用いて, 統計分析ソフト HAD<sup>[1]</sup>で 3 要因分散分析を行う方法を解説した。まず, 一丸<sup>[1]</sup>で示した ABCs (3 要因参加者間), ABsC (2 要因参加者間, 1 要因参加者内), AsBC (1 要因参加者間, 2 要因参加者内), sABC (3 要因参加者内) のそれぞれのデータセットの作り方とモデリングを再掲した。次に, 球面性の検定の結果より分散分析表および誤差項が分かりやすい表を作成し, 記載した。

本稿が HAD で 3 要因分散分析を行う際の一助となれば幸いである。

## 8. 謝辞

本稿の執筆にあたり, 多大なるご助言とご指導を賜りました久留米大学文学部心理学科の原口雅浩教授に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] 一丸彩, HAD を用いた 3 要因分散分析, 久留米大学コンピュータジャーナル, 36, pp.48-56, 2021.
- [2] 森敏昭・吉田寿夫, 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 北大路書房, 1990.
- [3] 清水裕士, フリー統計分析ソフト HAD: 機能の紹介と統計学習, 教育, 研究実践における利用方法の提案, メディア・情報・コミュニケーション研究, 1, pp.59-73, 2016.
- [4] 小宮あすか・布井雅人, Excel で今すぐはじめる心理統計 簡単ツール HAD で基本を身につける, 講談社, 2018.
- [5] 井関龍太 井関龍太のページ ANOVA 君/球面性検定の出力, 2019.  
[http://riseki.php.xdomain.jp/index.php?ANOVA 君/球面性検定の出力](http://riseki.php.xdomain.jp/index.php?ANOVA%20君/球面性検定の出力) (2022 年 11 月 23 日閲覧)