

一対比較による味の官能評価

実験日: 2024 年 10 月 16 日(水)

23D7104001I 高木 悠人

1. 実験目的

本実験では一対比較による味の官能評価を行い、どのような味(好み,甘さ,酸っぱさ)の清涼飲料水が好まれるか検討することを目的とする。食品製品開発を行う企業では「おいしさ」を定量的に評価することが求められている。例えば味の素 AGF 株式会社では、分析評価部門を設置し図 1 のような項目で商品の味を評価することで味を要素ごとに分類し改善に繋げている。このように味を言語化,数値化することを官能評価という。この官能評価により適切に改善することが可能となる。本研究では清涼飲料水を対象とし、組み合わせ効果,順序効果の解析結果に基づいて今後の清涼飲料水における官能評価を計画する際に注意すべき点について検討する。

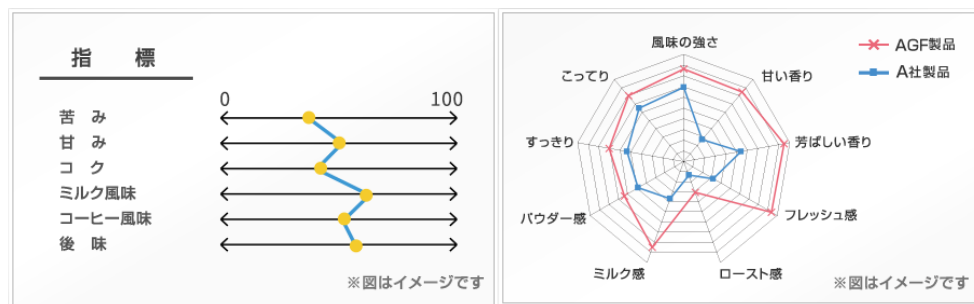


図 1. AGF による商品の官能評価

(左)は専門の評価員がコーヒーの味を特徴ごとに評価した例である。

(右)はそれらの評価を集計し複数の商品を比較した図である。

2. 実験方法

本実験では5種類のオレンジジュースを用いる。5種類の飲料を一对ごとに比較評価するためにはどちらを先に飲むかという順序も含め $5P_2$ により20通りの実験が必要となる。なぜなら、評価が絶対評価ではなく相対評価となってしまうため実験回数の経過により評価者の飽きや満腹度が少なからず影響してしまうからだ。この繰り返しを20回程度行うとすると合計400回の実験が必要となる。これを一人で行うのは不可能であるため、履修者39名で分担し一人約6対の比較を行なった。そして、履修者には以下の条件を満たしているか、実施上の注意点について確認を行った。

1. サンプル温度

舌の感覚は15~30度で敏感に働き低温では舌が麻痺し高温では鈍感になる。よって、評価対象を口に含む前に適正な温度か確認すること。そして以下の引用文献から分かるように評価対象の温度により感覚神経細胞の働き方が変わってくる。

21年のノーベル生理学・医学賞の受賞者の一人である米カリフォルニア大学サンフランシスコ校教授のデービッド・ジュリアス教授のもとで、当時実際に実験を行ったのが富永教授だ。感覚神経の細胞で働く1万6000種類もの遺伝子のなかから、TRPV1の遺伝子を突き止めた。ジュリアス教授と富永教授らは、TRPV1が辛みに反応すると同時に、セ氏43度以上の高温にも反応することも明らかにした。「辛さと熱さは英語で書けばどちらも"hot"だが、それを感じるセンサーも同じだった」と富永教授は話す。

(出村政彬,日経サイエンス編集部,「辛い」の科学 痛みが美味しさに変わるメカニズム, 2022/3/24, <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC2264P0S2A320C2000000/>, 2024/10/20 参照)

従って、直射日光の当たる場所に評価対象を置かないようにし、温度が大きく異なる場合は評価対象を準備し直すこととする。本実験では実験室前の廊下を挟み反対側の準備室で評価対象の準備を行い用いる際に台車で運ぶこととした。

2. 口の中に含む量

舌の部位によって甘さ,苦さに対する鋭敏度が異なる。また、量により味の濃さが変わって感じられることは容易に想像できる。したがって、口に入れる試料の量は口中全面に万遍なくゆきわたる程度にする。この点はワインのテイスティング法にしたがい適宜確認すること。

3. うがい

実験中のうがいは、味覚の残存効果を除き疲労効果を小さくする効果が期待できる。一方で、うがいを念入りにしすぎることによって時間が経過し、記憶がうすれ識別力が小さくなってしまいうためできるだけ速く行う。

4. 香水や整髪料などは匂いの弱いものを用いること
5. 実験の 30 分前と実験中は禁煙とする
6. 実験の前に口をゆすぎ、手を洗う
7. 実験中は無言を保つ
8. 実験室に入室する人数はできる限り最小限にする
テイスティング及評価には集中力が必要とされる。よって、外的要因を減らすために最小限の人数が入室するようにする。

どの対をどの評価者に割り振るかは、偏りを避けるために注意すべきである。したがって、計算機によって発生させた乱数を用いて割り振りを行うことが望ましい。そのため本実験では Excel を用いて乱数を発生させた。ここで一对の飲料(A と B)の比較を行う際の実験手順を以下に示す。実験室の配置,評価者と評価対象の位置関係,評価用紙は図 2,3,4 で示す。

1. 番号を呼ばれたら飲料受け取り所の近くで並ぶ。
2. 飲料がのったトレイを受け取る。
(トレイには飲料 2 カップ,水 1 カップ,判定用紙がのっている)
3. 評価部屋へ移動し、机の上の説明書を読む
4. バットに貼ってある赤い線が評価者から見て手前にくるようにおく
5. 席に着いたらタンブラーの水でうがいをする。
6. A を飲む
7. 次に B を飲む
8. B の好みを基準として「A は B に比べてどれほど好ましいか,好ましくないか」について 5 段階で評価する。
9. 判定内容として甘さ,酸っぱさについても評価する。
10. 評価終了後、PC に自身の評価結果を入力する。入力済みの判定用紙はグレーのボックスに入れる。
11. 待機室に戻り、次に呼ばれるまで待機する。

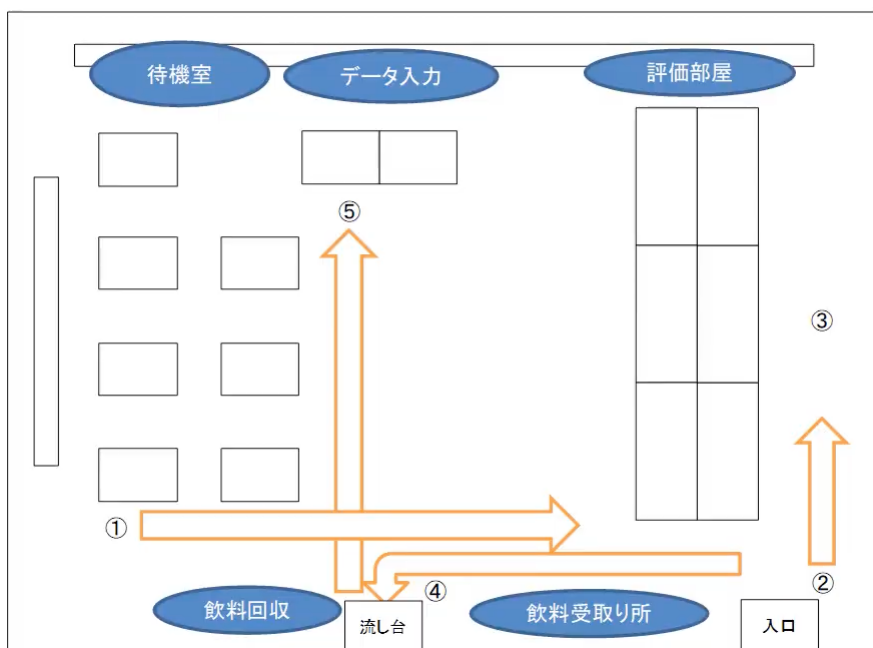


図 2. 評価部屋と待機室の構成

この図は実験の解説動画を参照した。参照元となる動画は参考文献に示す。

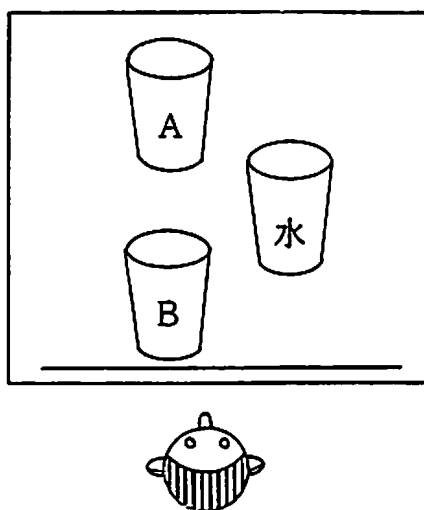


図 3. 評価者と評価対象および水の置き方

この図はテキスト 43 ページを参照した。置き方により匂いが広がるなどの評価対象が相互に影響し合うことを防ぐために設定した。

一対比較 判定用紙

	-2	-1	0	+1	+2
(イ) 好ましき AはBに比べて	非常に、 好ましくない	いくぶん、 好ましくない	全く、 差がない	いくぶん、 好ましい	非常に、 好ましい
(ロ) 甘さ AはBに比べて	非常に、 甘くない	いくぶん、 甘くない	全く、 差がない	いくぶん、 甘い	非常に、 甘い
(ハ) 酸っぱさ AはBに比べて	非常に、 酸っぱくない	いくぶん、 酸っぱくない	全く、 差がない	いくぶん、 酸っぱい	非常に、 酸っぱい

組み合わせ番号

2235	(イ)	(ロ)	(ハ)
------	-----	-----	-----

図 4. 評価シート

年組番号を記入してから(イ),(ロ),(ハ)について数字に丸を囲む。用紙一番下にある組み合わせ番号は事前に知らせてある評価番号,評価値を記入するものとする。この評価番号は解析の際に利用しミスがあると適正に判断できないため注意する。

3. 解析方法

実験によって得られた結果をもとに解析する。今回の解析では Scheffe'の方法を用いた。解析の大きな流れを示した後に Scheffe'の一対比較法の解析法を示すこととする。まず、大きな流れを以下に示す。

1. 好ましさ,甘さ,酸っぱさのそれぞれについて,順序を区別した清涼飲料水の組 20 通りについて-2~+2 の評価を行った人の人数を求めデータシートを作成する。
2. 評価 3 項目それぞれについて Scheffe'の方法により主効果,組み合わせ効果,順序効果の有無について検定する。用語の定義を次に示す。

1. 主効果

ジュース i の好ましさ(先に飲む方をジュース i , 後に飲む方を j とする。)

嗜好が偏っている場合、主効果が大きく変化し、嗜好の母寄りが無い場合は全て同じ値に近づくと考えられる。この、ジュースそれぞれの好ましさを主効果 α_i と定義する。

2. 組み合わせ効果

ジュース i を評価するときに j が及ぼす影響

今回の評価は「〇〇に対する」というように、相対的であるため基準とする評価対象に影響される場合がある。この影響を組み合わせ効果 γ_i と定義する。

3. 順序効果

ジュース i と j の順序を入れ替えた場合の差

相対評価であるため比較基準との差異が評価値となる。そのため、順序により印象の残り方に差が出ると推測できる。例えば、後に飲むジュースの方が味の濃いものであれば後のジュースの方が印象に残りやすいと推察できる。この順番に依存する影響を順序効果と定義する。

4. その他の要因

上記で説明できない要因(誤差など)

3. 分散分析表を用いた解析を行う
4. 主効果については、嗜好度を表す $\hat{\alpha}_i$ を推定し結果を図示する。
5. 分散分析表による解析にて有意判定式から、組み合わせ効果,順序効果が有意と判定された場合には推定を行う。組み合わせ効果または順序効果が有意になった場合には、主効果のみで評価できなくなる。組み合わせ効果,順序効果が生じないことが理想であるが、実験を行うとなると不可能である。なぜなら、比較対象や順序により嗜好度の評価基準が変わってしまうことになるからだ。よって、それぞれ $\hat{\mu}_i$, $\hat{\delta}_{ij}$ を推定し効果が大きな清涼飲料水の組,順序を明らかにする。
6. 甘さ,酸っぱさについても上記の解析を行う。

次に Scheffe'の方法を示す。Scheffe'の方法とは、データから順序効果を取り除き精度の高い検定結果を得られる官能評価法である。

1. 対に関して、評価を 5 段階(+2,+1,0,-1,-2)で評価する。この時 0 は全く差がないことを意味する。
2. 本実験の評価者である 39 人のうち 1 番目の評価者が 5 個の評価対象の中から i を先に j を後にした順序で比較した時の評価点を X_{ijl} とする。 X_{ijl} の求め方は以下の式から算出する。 a_i , a_j は評価対象における平均嗜好度, γ_{ij} は組み合わせ効果, ε_{ij} は順序効果, e_{ijl} は誤差として定義する。

$$X_{ijl} = (a_i - a_j) + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ij} + e_{ijl}$$

3. 評価点を表 1 のような度数表にまとめる。

表 1. 評点度数表

評点の度数			-2	-1	0	1	2	計 X_{ij}	二乗
A1	A2	(A1が先,A2が後)							
A1	A3	(A1が先,A3が後)							
A1	A4	(A1が先,A4が後)							
A1	A5	(A1が先,A5が後)							
A2	A1	(A2が先,A1が後)							
A2	A3	(A2が先,A3が後)							
A2	A4	(A2が先,A4が後)							
A2	A5	(A2が先,A5が後)							
A3	A1	(A3が先,A1が後)							
A3	A2	(A3が先,A2が後)							
A3	A4	(A3が先,A4が後)							
A3	A5	(A3が先,A5が後)							
A4	A1	(A4が先,A1が後)							
A4	A2	(A4が先,A2が後)							
A4	A3	(A4が先,A3が後)							
A4	A5	(A4が先,A5が後)							
A5	A1	(A5が先,A1が後)							
A5	A2	(A5が先,A2が後)							
A5	A3	(A5が先,A3が後)							
A5	A4	(A5が先,A4が後)							
合計									

この表は Scheffe'の方法に基づいて作成した。

4. 補助表 1

上記の評点度数表を扱いやすいように以下のような補助表を作成する。この補助表は評点度数表の計の部分参照し、行と列で対応する箇所に示す。本レポートでは、中央大学 manaba コースコンテンツにて掲載されていた csv ファイルに複数のミスが散見されたため再度計算しなおすこととした。

表.2 補助表 1

	A1	A2	A3	A4	A5
A1					
A2					
A3					
A4					
A5					
合計					

※灰色背景にされている要素は先と後の組み合わせが同一であり 0 となる。

5. 補助表 2

次に主効果の補助表を以下のように作成する。

表.3 補助表 2

	$X_{i..}$	$X_{.j.}$	$X_{i..}-X_{.j.}$	$(X_{i..}-X_{.j.})^2$
A1				
A2				
A3				
A4				
A5				
合計				

※この表は補助表 1 を参照している。まず $X_{i..}$ の部分は、補助表 1 の A_i 行の和となり、 $X_{.j.}$ は A_j 列の和となる。それらをもとに差を算出し一番左の列にその差を二乗したものを記す。

6. 補助表 3

次に組み合わせ効果に関する補助表を以下のように作成する。

表.4 補助表 3

	A1	A2	A3	A4	A5
A1					
A2					
A3					
A4					
A5					

※この表はそれぞれの要素が行列を転置したものとの差を記したものとなる。

7. 補助表 4

上記の補助表 3 をもとに二乗した表を作成する。

表.5 補助表 4

	A1	A2	A3	A4	A5
A1					
A2					
A3					
A4					
A5					

※この表は補助表 3 の要素を全て二乗したものとする。

8. 補助表 5

最後に順序効果について補助表を作成する。

表.6 補助表 5

	A1	A2	A3	A4	A5
A1					
A2					
A3					
A4					
A5					

※この表はそれぞれの要素が行列を転置したものとの和を記したものとなる。

9. 補助表 6

上記の表の要素をそれぞれ二乗した表を作成する。

表.7 補助表 6

	A1	A2	A3	A4	A5
A1					
A2					
A3					
A4					
A5					

※補助表 6 を二乗したものとする

10. 分散分析表

次に Excel のデータ分析ツールを用いて以下のような分散分析表を生成する。

表.8 分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果				
組み合わせ				
順序				
誤差				--
合計			--	--

※上記の表は Excel のデータ分析ツールと Python ライブラリを用いて解析したものを一部修正し添付することとした。

- 主効果を以下の式から推定する。この式の t 値は資料の数, n は各グループの評価者の人数を表している。

$$\hat{a}_i = \frac{1}{2tn} (x_{i..} - x_{j..})$$

- その推定値を数直線で可視化する。
- 次に主効果における区間推定を行うためにヤードスティック Y_p を次の計算式から算出する。

$$Y_p = q_p(t, \phi_\varepsilon) \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{2tn}} (\hat{\sigma}^2 = V_\varepsilon)$$

14. 上記の計算結果を用いてすべての i, j の組み合わせについて信頼区間を求める。信頼区間は次のような求め方となる。

$$\hat{a}_i - \hat{a}_j - Y_p \leq \hat{a}_i - \hat{a}_j \leq \hat{a}_i - \hat{a}_j + Y_p$$

15. 次に組み合わせ効果について以下の公式を用いて算出する。

$$r_{ij} = \frac{1}{2n}(x_{ij.} - x_{ji.}) - (\hat{a}_i - \hat{a}_j)$$

16. 最後に順序効果を次の式を用いて算出する。

$$\delta_{ij} = \frac{1}{2n}(x_{ij.} + x_{ji.})$$

17. この解析を好ましき, 甘さ, 酸っぱさの 3 観点で行う。

4. 実験結果

本実験では 400 試行全ての評価シートを添付することは一覽性の観点で適さないため省略することとした。代替として、集計した結果を解析結果にて示す。

5. 解析結果

1. 好ましさ

(ア) 集計表(評点度数表)

はじめに評点度数表を以下に示す。この表を見ると、評価対ごとに傾向があるように推測できる。

表.9 好ましさにおける評点度数表

評点の度数			-2	-1	0	1	2	計 (X_{ij})	二乗
A1	A2	(A1が先,A2が後)	6	6	1	1	6	-5	25
A1	A3	(A1が先,A3が後)	1	5	8	3	3	2	4
A1	A4	(A1が先,A4が後)	5	3	2	7	3	0	0
A1	A5	(A1が先,A5が後)	0	5	12	2	1	-1	1
A2	A1	(A2が先,A1が後)	3	3	4	7	3	4	16
A2	A3	(A2が先,A3が後)	4	7	0	4	5	-1	1
A2	A4	(A2が先,A4が後)	2	2	7	5	4	7	49
A2	A5	(A2が先,A5が後)	2	3	1	4	10	17	289
A3	A1	(A3が先,A1が後)	1	7	1	10	1	3	9
A3	A2	(A3が先,A2が後)	6	6	0	3	5	-5	25
A3	A4	(A3が先,A4が後)	5	9	0	4	2	-11	121
A3	A5	(A3が先,A5が後)	0	6	8	6	0	0	0
A4	A1	(A4が先,A1が後)	1	3	1	5	10	20	400
A4	A2	(A4が先,A2が後)	1	1	4	8	6	17	289
A4	A3	(A4が先,A3が後)	1	4	1	3	11	19	361
A4	A5	(A4が先,A5が後)	1	3	0	6	10	21	441
A5	A1	(A5が先,A1が後)	0	9	6	5	0	-4	16
A5	A2	(A5が先,A2が後)	5	5	1	6	3	-3	9
A5	A3	(A5が先,A3が後)	3	3	9	2	3	-1	1
A5	A4	(A5が先,A4が後)	7	4	1	5	3	-7	49

この表は 400 試行分の評価シートを元に度数ごと集計したものである。

(イ) 補助表 1

評点度数表を元に解析しやすいように補助表を作成する。まず効果ごとの補助表の前段階として、以下のような表を作成した。この補助表では、先に飲んだ飲料に対する後に飲んだ飲料の評価値を表している。これを見ると、A4は他の評価対象に対する評価値がすべて正であるため「好ましさ」という点で優れているように見える。

表.10 好ましさにおける補助表 1

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		-5	2	0	-1
A2	4		-1	7	17
A3	3	-5		-11	0
A4	20	17	19		21
A5	-4	-3	-1	-7	
合計	23	4	19	-11	37

この表は評点と度数を掛けて足すことで期待値を算出し、上記の表にまとめている。例えば、A1:A3 のセル(1 行目 3 列目)では、A1 が先,A3 が後である場合に注目している。よって、集計表の計を参照して 2 になるとわかる。

(ウ)補助表 2

次に、評価対象を後に飲んだ場合と先に飲んだ場合の差について以下に示す。この表からは目立った傾向を知ることは難しいように思える。

表.11 好ましさにおける主効果の補助表 2

	$X_{i..}$	$X_{.j}$	$X_{i..}-X_{.j}$	$(X_{i..}-X_{.j})^{**2}$
A1	-4	23	-27	729
A2	27	4	23	529
A3	-13	19	-32	1024
A4	77	-11	88	7744
A5	-15	37	-52	2704
合計	72	72	0	12730

※この表は補助表 1 を元に作成している。 $X_{i..}$ は A_i 行の和を示している。例えば、A_1 における $X_{1..}$ では(-5+2+0-1)で-4 となる。一方、 $X_{.j}$ は A_j 列における和を示している。例えば、A_2 における、 $X_{.j}$ は補助表 1 の A2 列合計 4 と同一の値となっている。次に、 $X_{i..}-X_{.j}$ はそれらの差を表している。最後に $(X_{i..}-X_{.j})^{**2}$ は $X_{i..}-X_{.j}$ の値を二乗したものである。

(エ)補助表 3

次に、組み合わせ効果の検定を行うための以下の補助表を作成した。

表.12 好ましさにおける組み合わせ効果の補助表 3

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		-9	-1	-20	3
A2	0		4	-10	20
A3	0	0		-30	1
A4	0	0	0		28
A5	0	0	0	0	

※この表は補助表 1 を参照して作成した。この行列の各要素は $X_{ij} - X_{ji}$ を計算したものである。例えば A3 行 A4 列では -30 となっている。補助表 1 より、 X_{34}, X_{43} はそれぞれ -11, 19 となっている。よってその差である -30 が値となる。

(オ)補助表 4

次に、補助表 3 の各要素を二乗したものを以下に示す。

表.13 好ましさにおける組み合わせ効果の補助表 4

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		81	1	400	9
A2	0		16	100	400
A3	0	0		900	1
A4	0	0	0		784
A5	0	0	0	0	

※これは、補助表 3 を元に作成した。

これらの表をもとに組み合わせ効果の推定値を求める

(カ)補助表 5

次に、組み合わせ効果の検定を行うための以下の補助表を作成した。

表.14 好ましさにおける順序効果の補助表 5

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		-1	5	20	-5
A2	0		-6	24	14
A3	0	0		8	-1
A4	0	0	0		14
A5	0	0	0	0	

※この表は補助表 1 を参考にして作成した。各要素の値は $X_{ij} + X_{ji}$ を計算した結果となる。例えば、A2 行 A5 列では、14 となっているがこれは、補助表 1 の A2 行 A5 列の値 17 と A5 行 A2 列の値 -3 の和になっている。

(キ)補助表 6

補助表 5 を元にして二乗した値を各要素とする補助表を以下に示す。

表.15 好ましさにおける順序効果の補助表 6

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	25	400	25
A2	0		36	576	196
A3	0	0		64	1
A4	0	0	0		196
A5	0	0	0	0	

※補助表 5 を元にして作成した。

これらの表をもとに順序効果の推定値を求める。

(ク)仮説

次のように帰無仮説と対立仮説を設定する。

① サンプルにおける嗜好度の差(主効果)

帰無仮説 H_0 : $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 0$

対立仮説 H_1 : a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 のうち少なくとも1つは0ではない。

② 組み合わせ効果

帰無仮説 H_0 : $\gamma_{12} = \gamma_{13} = \gamma_{14} = \dots = \gamma_{43} = \gamma_{45} = 0$

対立仮説 H_1 : $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}, \dots, \gamma_{43}, \gamma_{45}$ のうち少なくとも1つは0ではない。

③ 順序効果

帰無仮説 H_0 : $\delta_{12} = \delta_{13} = \delta_{14} = \dots = \delta_{43} = \delta_{45} = 0$

対立仮説 H_1 : $\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}, \dots, \delta_{43}, \delta_{45}$ のうち少なくとも1つは0ではない。

(ケ)分散分析表及び推定

上記をもとに分散分析表を Excel のデータ分析ツールを用いて作成し、Python で確認を行うこととした。作成した結果、以下ようになった。

表.16 好ましさにおける分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	63.65	4	15.9125	9.20778133
組合せ効果	3.65	6	0.60833333	0.35201259
順序効果	38	10	3.8	2.19887315
誤差	656.7	380	1.72815789	
総平方和	762	400		

※この表は Excel で出力した表の値を参照し独自に作り替えたものである。

上記の分散分析表にある F 値に注目して有意水準を 1%,5%の 2つの場合で検討する。

まず、主効果について検討する。主効果における F 値 $F_\alpha = 9.21$ は有意水準 0.05 における F 分布の上側 5%点 $F(4,380;0.05) = 2.40$ よりも大きな値となっている。したがって、好ましさの主効果は有意水準 0.05 において帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言える。そして、有意水準 0.01 における F 分布の上側 1%点 $F(4,380;0.01) = 3.37$ よりも大きな値となっている。従って、有意水準 0.01 においても帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言うことができる。

次に組み合わせ効果について検討する。組み合わせ効果における F 値 $F_\gamma = 0.35$ は有意水準 0.05 における F 分布の上側 5%点 $F(6,380;0.05) = 2.12$ よりも

小さな値となっている。よって、有意判定式を満たさないため好ましさの組み合わせ効果において帰無仮説を棄却できない結果となった。そして、有意水準 0.01 における検定にて帰無仮説を棄却できない結果になることは有意水準 0.05 における検定結果より自明である。

最後に、順序効果について検討する。組み合わせ効果における F 値 $F_0 = 2.20$ は有意水準 0.05 における F 分布の上側 5% 点 $F(10, 380; 0.05) = 1.86$ よりも大きな値となっている。よって、有意判定式を満たすため有意水準 0.05 において帰無仮説を棄却する結果となった。一方、有意水準 0.01 においては、F 分布の上側 1% 点 $F(10, 380; 0.01) = 2.37$ を下回ることから帰無仮説を棄却できない結果となった。従って、好ましさの順序効果において有意水準 5% のみにおいて帰無仮説を棄却する結果となった。

上記より、主効果においては有意水準 5%, 1% の両方、順序効果は 5% においてのみ有意な差が生じていると言えるが組み合わせ効果については有意な差が生じていると言い切れる結果ではないとわかった。そのため、有意水準 5% にて有意になった主効果、順序効果について推定する。平均嗜好度と順序効果の推定値は解析手法を参照して以下の表ように求められる。

表.17 好ましさ(嗜好度)における主効果の推定

i	$X_{i..} - X_{.i.}$	$\hat{\alpha}_i$
1	-27	-0.14
2	23	0.12
3	-32	-0.16
4	88	0.44
5	-52	-0.26

※Excel で計算し作成した。



図.5 評価対象 5 つにおける嗜好度の数直線

この数直線は上記の表を元に作成した。今回は作図にエクセルを用いており、プロットカラーの変更ができなかったため、本キャプションで補足することとする。プロットは右から 5,3,1,24 とする。

この図から嗜好度の観点では A4 が大きく、A5 が最も小さい値となっていることが視認できた。次に主効果の差 $a_i - a_j$ の信頼区間を推定する。主効果は 5% の有意水準で有意と言えたためこの推定では 5% についてのみ扱うこととする。まず、解析手法で提示しているヤードスティック Y_p の計算法を参照し、 $Y_p = 0.345$ と求まった。信頼区間を解析手法の通りに、 Y_p を用いて以下のように求め示した。

表.18 好ましさにおける主効果の差の信頼区間

$a_{i..} - a_{.j.}$	$a_{i..} - a_{.j.} - Y_{.0.05}$	$a_{i..} - a_{.j.} + Y_{.0.05}$
A1-A2=-0.25	-0.61	0.11
A1-A3=0.025	-0.33	0.38
A1-A4=-0.575	-0.93	-0.22
A1-A5=0.125	-0.23	0.48
A2-A1=0.25	-0.11	0.61
A2-A3=0.275	-0.08	0.63
A2-A4=-0.325	-0.68	0.03
A2-A5=0.375	0.02	0.73
A3-A1=-0.025	-0.38	0.33
A3-A2=-0.275	-0.63	0.08
A3-A4=-0.6	-0.96	-0.24
A3-A5=0.1	-0.26	0.46
A4-A1=0.575	0.22	0.93
A4-A2=0.325	-0.03	0.68
A4-A3=0.6	0.24	0.96
A4-A5=0.7	0.34	1.06
A5-A1=-0.125	-0.48	0.23
A5-A2=-0.375	-0.73	-0.02
A5-A3=-0.1	-0.46	0.26
A5-A4=-0.7	-1.06	-0.34

この表は $Y_p = 0.359$ と主効果の推定の表を元に作成した。

この表より、 $|a_i - a_j|$ の値が Y_p よりも大きい場合、その区間で主効果が有意であると言える。それを満たす i, j の組み合わせは以下の 8 つとなる。

$$(i, j) = (1, 4)$$

$$(i, j) = (2, 5)$$

$$(i, j) = (3, 4)$$

$$(i, j) = (4, 1)$$

$$(i, j) = (4, 3)$$

$$(i, j) = (4, 5)$$

$$(i, j) = (5, 2)$$

$$(i, j) = (5, 4)$$

5%有意水準で有意と言えた順序効果においても推定を行う。推定の計算結果を以下の表に示す。

表.19 好ましさにおける順序効果の推定

i	j	$X_{ij} + X_{ji}$	$\widehat{\delta_{ij}}$
A1	A2	-1	-0.025
A1	A3	5	0.125
A1	A4	20	0.5
A1	A5	-5	-0.125
A2	A3	-6	-0.15
A2	A4	24	0.6
A2	A5	14	0.35
A3	A4	8	0.2
A3	A5	-1	-0.025
A4	A5	14	0.35

この表は A_i と A_j における順序効果の推定を行なった結果を示している。

この結果から $(i, j) = (A2, A4)$ の順序効果が高いことがわかる。

2. 甘さ

(ア)集計表(評点度数表)

はじめに評点度数表を以下に示す。この表を見ると、評価対ごとに傾向があるように見える。

表.20 甘さにおける評点度数表

評点の度数			-2	-1	0	1	2	計 (X_{ij})	二乗
A1	A2	(A1が先,A2が後)	10	5	2	0	3	-19	361
A1	A3	(A1が先,A3が後)	3	6	8	3	0	-9	81
A1	A4	(A1が先,A4が後)	12	5	0	2	1	-25	625
A1	A5	(A1が先,A5が後)	1	4	11	3	1	-1	1
A2	A1	(A2が先,A1が後)	0	2	0	8	10	26	676
A2	A3	(A2が先,A3が後)	6	8	0	3	3	-11	121
A2	A4	(A2が先,A4が後)	1	11	2	4	2	-5	25
A2	A5	(A2が先,A5が後)	2	1	2	3	12	22	484
A3	A1	(A3が先,A1が後)	0	8	1	10	1	4	16
A3	A2	(A3が先,A2が後)	11	6	1	1	1	-25	625
A3	A4	(A3が先,A4が後)	15	2	0	2	1	-28	784
A3	A5	(A3が先,A5が後)	0	7	12	1	0	-6	36
A4	A1	(A4が先,A1が後)	0	2	2	1	15	29	841
A4	A2	(A4が先,A2が後)	0	2	5	10	3	14	196
A4	A3	(A4が先,A3が後)	0	0	1	4	15	34	1156
A4	A5	(A4が先,A5が後)	0	2	0	1	17	33	1089
A5	A1	(A5が先,A1が後)	3	11	6	0	0	-17	289
A5	A2	(A5が先,A2が後)	13	6	0	1	0	-31	961
A5	A3	(A5が先,A3が後)	2	9	6	3	0	-10	100
A5	A4	(A5が先,A4が後)	14	5	0	0	1	-31	961

この表は 400 試行分の評価シートを元に度数ごと集計したものである。

(イ)補助表 1

評点度数表を元に解析しやすいように補助表を作成する。まず効果ごとの補助表の前段階として、以下のような表を作成した。この補助表では、先に飲んだ飲料に対する後に飲んだ飲料の評価値を表している。これを見ると、A4は他の評価対象に対する評価値がすべて正であるため「甘さ」という点で優れているように見える。この傾向が有意であるのか複数の判断するために検定を行う。

表.21 甘さにおける補助表 1

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		-19	-9	-25	-1
A2	26		-11	-5	22
A3	4	-25		-28	-6
A4	29	14	34		33
A5	-17	-31	-10	-31	
合計	42	-61	4	-89	48

※この表は評点と度数を掛けて足すことで期待値を算出し、
上記の表にまとめている。

(ウ)補助表 2

次に、評価対象を後に飲んだ場合と先に飲んだ場合の差について以下に示す。この表からは目立った傾向を知ることは難しいように思える。

表.22 甘さにおける主効果の補助表 2

	$X_{i..}$	$X_{.j.}$	$X_{i..} - X_{.j.}$	$(X_{i..} - X_{.j.})^{**2}$
A1	-54	42	-96	9216
A2	32	-61	93	8649
A3	-55	4	-59	3481
A4	110	-89	199	39601
A5	-89	48	-137	18769
合計	-56	-56	0	79716

この表は補助表 1 を元に作成している。次に、 $X_{i..} - X_{.j.}$ はそれらの差を表している。最後に $(X_{i..} - X_{.j.})^2$ は $X_{i..} - X_{.j.}$ の値を二乗したものである。

(エ)補助表 3

次に、組み合わせ効果の検定を行うための以下の補助表を作成した。

表.23 甘さにおける組み合わせ効果の補助表 3

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		-45	-13	-54	16
A2	0		14	-19	53
A3	0	0		-62	4
A4	0	0	0		64
A5	0	0	0	0	

※この表は補助表 1 を参照して作成した。

(オ)補助表 4

次に、補助表 3 の各要素を二乗したものを以下に示す。

表.24 甘さにおける組み合わせ効果の補助表 4

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		2025	169	2916	256
A2	0		196	361	2809
A3	0	0		3844	16
A4	0	0	0		4096
A5	0	0	0	0	

※これらの表をもとに組み合わせ効果の推定値を求める

(カ)補助表 5

次に、組み合わせ効果の検定を行うための以下の補助表を作成した。

表.25 好ましさにおける順序効果の補助表 5

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		7	-5	4	-18
A2	0		-36	9	-9
A3	0	0		6	-16
A4	0	0	0		2
A5	0	0	0	0	

※各要素の値は $X_{ij} + X_{ji}$ である。

(キ)補助表 6

補助表 5 を元にして二乗した値を各要素とする補助表を以下に示す。

表.26 甘さにおける順序効果の補助表 6

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		49	25	16	324
A2	0		1296	81	81
A3	0	0		36	256
A4	0	0	0		4
A5	0	0	0	0	

※これらの表をもとに順序効果の推定値を求める。

(ク)仮説

次のように帰無仮説と対立仮説を設定する。

① サンプルにおける甘さの差(主効果)

帰無仮説 H_0 : $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 0$

対立仮説 H_1 : a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 のうち少なくとも1つは0ではない。

② 組み合わせ効果

帰無仮説 H_0 : $\gamma_{12} = \gamma_{13} = \gamma_{14} = \dots = \gamma_{43} = \gamma_{45} = 0$

対立仮説 H_1 : $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}, \dots, \gamma_{43}, \gamma_{45}$ のうち少なくとも1つは0ではない。

③ 順序効果

帰無仮説 H_0 : $\delta_{12} = \delta_{13} = \delta_{14} = \dots = \delta_{43} = \delta_{45} = 0$

対立仮説 H_1 : $\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}, \dots, \delta_{43}, \delta_{45}$ のうち少なくとも1つは0ではない。

(ケ)分散分析表及び推定

上記をもとに分散分析表を Excel のデータ分析ツールを用いて作成し、Python で確認を行うこととした。作成した結果、以下ようになった。

表.27 甘さにおける分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	398.58	4	99.645	93.1261682
組合せ効果	18.62	6	3.10333333	2.90031153
順序効果	54.2	10	5.42	5.06542056
誤差	406.6	380	1.07	
総平方和	878	400		

この表は Excel で出力した表の値を参照し独自に作り替えたものである。

上記の分散分析表にある F 値に注目して有意水準を 1%, 5% の 2 つの場合で検定を行う。

まず、主効果について検討する。主効果における F 値 $F_\alpha = 93.13$ は有意水準 0.05 における F 分布の上側 5% 点 $F(4, 380; 0.05) = 2.40$ よりも大きな値となっている。したがって、甘さの主効果は有意水準 0.05 において帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言える。そして、有意水準 0.01 における F 分布の上側 1% 点 $F(4, 380; 0.01) = 3.37$ よりも大きな値となっている。従って、有意水準 0.01 においても帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言うことができる。

次に組み合わせ効果について検討する。組み合わせ効果における F 値 $F_\gamma = 2.90$ は有意水準 0.05 における F 分布の上側 5% 点 $F(6, 380; 0.05) = 2.12$ よりも

大きな値となっている。したがって、甘さの組み合わせ効果は有意水準 0.05 において帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言える。そして、有意水準 0.01 における F 分布の上側 1%点 $F(6,380; 0.01) = 2.85$ よりも大きな値となっている。従って、有意水準 0.01 においても帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言うことができる。

最後に、順序効果について検討する。組み合わせ効果における F 値 $F_8 = 5.07$ は有意水準 0.05 における F 分布の上側 5%点 $F(10,380; 0.05) = 1.86$ よりも大きな値となっている。したがって、甘さの順序効果は有意水準 0.05 において帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言える。そして、有意水準 0.01 における F 分布の上側 1%点 $F(10,380; 0.01) = 2.37$ よりも大きな値となっている。従って、有意水準 0.01 においても帰無仮説を棄却し有意な差が生じていると統計的に言うことができる。

上記より、甘さの評価においては有意水準 5%,1%の両方で主効果,組み合わせ効果,順序効果に有意な差が生じていると言えるとわかった。有意になった主効果,順序効果,順序効果について推定する。平均嗜好度と組み合わせ効果,順序効果の推定値は解析手法を参照して以下の表ように求められる。

表.28 甘さの嗜好度における主効果の推定

i	$X_{i..}-X_{.i.}$	$\hat{\alpha}_i$
1	-96	-0.48
2	93	0.465
3	-59	-0.295
4	199	0.995
5	-137	-0.685



図.6 評価対象 5 つにおける甘さの数直線

この数直線は上記の表を元に作成した。今回は作図にエクセルを用いており、プロットカラーの変更ができなかったため、本キャプションで補足することとする。プロットは右から 5,1,3,2,4 とする。

この図から甘さ嗜好度の観点では A4 が大きく、A5,A1,A3 が小さい値となっていることが可視化できた。次に 1%,5%で有意な差が生じていると言えた主効果の差 $a_i - a_j$ の信頼区間を推定する。本項でのこの推定では 5%についてのみ扱うこととする。まず、解析手法で提示しているヤードスティック Y_p の計算法を参照し、 $Y_p = 0.260$ と求まった。信頼区間を解析手法の通りに、 Y_p を用いて以下のように求め示した。

表.29 甘さにおける主効果の差の信頼区間

ai.-a.j.	ai.-a.j.-Y_0.05	ai.-a.j.+Y_0.05
A1-A2=-0.945	-1.23	-0.66
A1-A3=-0.185	-0.47	0.10
A1-A4=-1.475	-1.76	-1.19
A1-A5=0.205	-0.08	0.49
A2-A1=0.945	0.66	1.23
A2-A3=0.76	0.48	1.04
A2-A4=-0.53	-0.81	-0.25
A2-A5=1.15	0.87	1.43
A3-A1=0.185	-0.10	0.47
A3-A2=-0.76	-1.04	-0.48
A3-A4=-1.29	-1.57	-1.01
A3-A5=0.39	0.11	0.67
A4-A1=1.475	1.19	1.76
A4-A2=0.53	0.25	0.81
A4-A3=1.29	1.01	1.57
A4-A5=1.68	1.40	1.96
A5-A1=-0.205	-0.49	0.08
A5-A2=-1.15	-1.43	-0.87
A5-A3=-0.39	-0.67	-0.11
A5-A4=-1.68	-1.96	-1.40

この表は $Y_p = 0.282$ と主効果の推定の表を元に作成した。

この表より、 $|a_i - a_j|$ の値が Y_p よりも大きい場合、その区間で主効果が有意であると言える。それを満たす i, j の組み合わせは以下の組となる。

$$(i, j) = (1, 2)$$

$$(i, j) = (1, 4)$$

$$(i, j) = (2, 1)$$

$$(i, j) = (2, 2)$$

$$(i, j) = (2, 3)$$

$$(i, j) = (2, 4)$$

$$(i, j) = (2, 5)$$

$$(i, j) = (3, 2)$$

$$(i, j) = (3, 4)$$

$$(i, j) = (3, 5)$$

$$(i, j) = (4, 1)$$

$$(i,j) = (4,2)$$

$$(i,j) = (4,3)$$

$$(i,j) = (4,5)$$

$$(i,j) = (5,2)$$

$$(i,j) = (5,3)$$

$$(i,j) = (5,4)$$

次に、5%,1%有意水準で有意と言えた組み合わせ効果においても推定を行う。推定の計算結果を以下の表に示す。

表.30 甘さにおける組み合わせ効果の推定

i	j	Xij.-Xji.	\widehat{r}_{ij}
1	2	-45	-0.18
1	3	-13	-0.14
1	4	-54	0.125
1	5	16	0.195
2	3	14	-0.41
2	4	-19	0.055
2	5	53	0.175
3	4	-62	-0.26
3	5	4	-0.29
4	5	64	-0.08

※この表は A_i と A_j における組み合わせ効果の推定を行なった結果を示している。

この表から、組み合わせ効果が大きいのは絶対値が大きい要素であると言える。なぜなら組み合わせは順序に依存しないためである。したがって、以下の組み合わせが特に大きい値となっていると言える。

$$(i,j) = (2,3)$$

最後に、5%有意水準で有意と言えた順序効果においても推定を行う。推定の計算結果を以下の表に示す。

表.31 甘さにおける順序効果の推定

i	i	X _{ij} .+X _{ji} .	$\widehat{\delta}_{ij}$
1	2	7	0.18
1	3	-5	-0.13
1	4	4	0.10
1	5	-18	-0.45
2	3	-36	-0.90
2	4	9	0.23
2	5	-9	-0.23
3	4	6	0.15
3	5	-16	-0.40

この表は A_i と A_j における組み合わせ効果の推定を行なった結果を示している。

この表から、順序効果が大きいのは絶対値が大きい要素であると言える。なぜなら 0 に近い場合、順序に影響されないと言えるためだ。つまり、順序が逆になれば正の効果が負の効果に、負の効果が正の効果に逆転すると言える。例えば、正の効果が大きい順序を逆転させると、負の効果が大きい順序と変化させることができる。そのため、正の効果が大きい順序を以下に示すこととする。

$$(i,j) = (2,4)$$

$$(i,j) = (1,2)$$

3. 酸っぱさ

(ア) 集計表(評点度数表)

はじめに評点度数表を以下に示す。この表を見ると、評価対ごとに傾向があるように見える。

表.32 酸っぱさにおける評点度数表

評点の度数			-2	-1	0	1	2	計 (X_{ij})	二乗
A1	A2	(A1が先,A2が後)	2	3	3	1	11	16	256
A1	A3	(A1が先,A3が後)	0	2	9	6	3	10	100
A1	A4	(A1が先,A4が後)	2	1	0	9	8	20	400
A1	A5	(A1が先,A5が後)	0	5	12	3	0	-2	4
A2	A1	(A2が先,A1が後)	11	6	2	1	0	-27	729
A2	A3	(A2が先,A3が後)	4	3	1	5	7	8	64
A2	A4	(A2が先,A4が後)	1	3	10	5	1	2	4
A2	A5	(A2が先,A5が後)	12	4	1	3	0	-25	625
A3	A1	(A3が先,A1が後)	1	10	3	6	0	-6	36
A3	A2	(A3が先,A2が後)	1	3	0	6	10	21	441
A3	A4	(A3が先,A4が後)	2	1	2	7	8	18	324
A3	A5	(A3が先,A5が後)	0	4	11	5	0	1	1
A4	A1	(A4が先,A1が後)	14	3	1	2	0	-29	841
A4	A2	(A4が先,A2が後)	3	5	11	1	0	-10	100
A4	A3	(A4が先,A3が後)	12	4	2	2	0	-26	676
A4	A5	(A4が先,A5が後)	15	1	1	2	1	-27	729
A5	A1	(A5が先,A1が後)	0	3	3	14	0	11	121
A5	A2	(A5が先,A2が後)	2	1	0	4	13	25	625
A5	A3	(A5が先,A3が後)	0	3	5	8	4	13	169
A5	A4	(A5が先,A4が後)	0	2	0	4	14	30	900

この表は 400 試行分の評価シートを元に度数ごと集計したものである。

(イ) 補助表 1

評点度数表を元に解析しやすいように補助表を作成する。まず効果ごとの補助表の前段階として、以下のような表を作成した。この補助表では、先に飲んだ飲料に対する後に飲んだ飲料の評価値を表している。これを見ると、A1は他の評価対象に対する評価値がすべて正であるため「好ましさ」という点で優れているように見える。この傾向が有意であるのか複数の判断するために検定を行う。次に、評点度数表から検定で扱える数値を算出するため、以下の補助表を作成した。

表.33 酸っぱさにおける補助表 1

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		16	10	20	-2
A2	-27		8	2	-25
A3	-6	21		18	1
A4	-29	-10	-26		-27
A5	11	25	13	30	
合計	-51	52	5	70	-53

※この表は評点と度数を掛けて足すことで期待値を算出し、
上記の表にまとめている。

(ウ)補助表 2

次に、評価対象を後に飲んだ場合と先に飲んだ場合の差について以下に示す。この表からは目立った傾向を知ることは難しいように思える。

表.34 酸っぱさにおける主効果の補助表 2

	$X_{i..}$	$X_{.j}$	$X_{i..}-X_{.j}$	$(X_{i..}-X_{.j})^{**2}$
A1	44	-51	95	9025
A2	-42	52	-94	8836
A3	34	5	29	841
A4	-92	70	-162	26244
A5	79	-53	132	17424
合計	23	23	0	62370

この表は補助表 1 を元に作成している。 $X_{i..}$ は A_i 行の和を示している。

(エ) 補助表 3 組み合わせ効果

次に、組み合わせ効果の検定を行うための以下の補助表を作成した。

表.35 酸っぱさにおける組み合わせ効果の補助表 3

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		43	16	49	-13
A2	0		-13	12	-50
A3	0	0		44	-12
A4	0	0	0		-57
A5	0	0	0	0	

※この表は補助表 1 を参照して作成した。

この行列の各要素は $X_{ij} - X_{ji}$ を計算したものである。

(オ) 補助表 4

次に、補助表 3 の各要素を二乗したものを以下に示す。

表.36 酸っぱさにおける組み合わせ効果の補助表 4

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1849	256	2401	169
A2	0		169	144	2500
A3	0	0		1936	144
A4	0	0	0		3249
A5	0	0	0	0	

これらの表をもとに組み合わせ効果の推定値を求める

(カ)補助表 5 順序効果

次に、組み合わせ効果の検定を行うための以下の補助表を作成した。

表.37 酸っぱさにおける順序効果の補助表 5

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		-11	4	-9	9
A2	0		29	-8	0
A3	0	0		-8	14
A4	0	0	0		3
A5	0	0	0	0	

※この表は補助表 1 を参考にして作成した。

各要素の値は $X_{ij} + X_{ji}$ を計算した結果となる。

(キ)補助表 6

補助表 5 を元にして二乗した値を各要素とする補助表を以下に示す。

表.38 甘さにおける順序効果の補助表 6

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		121	16	81	81
A2	0		841	64	0
A3	0	0		64	196
A4	0	0	0		9
A5	0	0	0	0	

これらの表をもとに順序効果の推定値を求める。

(ク) 仮説

次のように帰無仮説と対立仮説を設定する。

- ① サンプルにおける甘さの差(主効果)

帰無仮説 H_0 : $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 0$

対立仮説 H_1 : a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 のうち少なくとも1つは0ではない。

- ② 組み合わせ効果

帰無仮説 H_0 : $\gamma_{12} = \gamma_{13} = \gamma_{14} = \dots = \gamma_{43} = \gamma_{45} = 0$

対立仮説 H_1 : $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}, \dots, \gamma_{43}, \gamma_{45}$ のうち少なくとも1つは0ではない。

- ③ 順序効果

帰無仮説 H_0 : $\delta_{12} = \delta_{13} = \delta_{14} = \dots = \delta_{43} = \delta_{45} = 0$

対立仮説 H_1 : $\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}, \dots, \delta_{43}, \delta_{45}$ のうち少なくとも1つは0ではない。

(ケ) 分散分析表及び推定

上記をもとに分散分析表を Excel のデータ分析ツールを用いて作成し、Python で確認を行うこととした。作成した結果、以下ようになった。

表.39 酸っぱさにおける分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	311.85	4	77.9625	65.5799668
組合せ効果	8.575	6	1.42916667	1.20217672
順序効果	36.825	10	3.6825	3.09762037
誤差	451.75	380	1.18881579	
総平方和	809	400		

この表は Excel で出力した表の値を参照し独自に作り替えたものである。

上記の分散分析表にある F 値に注目して有意水準を 1%, 5% の 2 つの場合で検定を行う。まず、主効果について検討する。主効果における F 値 $F_\alpha = 65.58$ は有意水準 5% における F 分布上側 5% 点 $F(4, 380; 0.01) = 2.40$ よりも大きな値となっている。したがって、有意水準 5% において帰無仮説 H_0 を棄却する。また有意水準 1% について F 分布上側 1% 点 $F(4, 380; 0.05) = 3.37$ より大きい値となっていることから、同様にして帰無仮説 H_0 を棄却し、対立仮説を採択する結果となった。よって、評価対象ごとに生じる酸っぱさの嗜好度には有意水準 5%, 1% の両方で有意な差があると言える。

次に組み合わせ効果について検討する。組み合わせ効果における F 値 $F_\gamma = 1.20$ は $F(6, 380; 0.05) = 2.12$ よりも小さな値となっている。したがって、有意であると言えないため有意水準 5% において帰無仮説 H_0 を棄却できない結果

となった。そして、有意水準 5%において帰無仮説を棄却できない結果となったため有意水準 1%においても棄却できないことは自明である。したがって、組み合わせ効果について有意な組み合わせ効果があると言い切ることはできないと言える。

最後に、順序効果について検討する。順序効果における F 値 $F_{\delta} = 3.10$ は F 分布上側 5%点 $F(10,380;0.05) = 1.86$ よりも大きな値となっている。したがって、有意水準 5%において帰無仮説を棄却する結果となった。そして、有意水準 1%において $F(10,380;0.01) = 2.37$ より、同様にして上回っている。よって、有意水準 1%においても帰無仮説 H_0 を棄却し、対立仮説を採択する。そのため、評価対象を飲む順番による酸っぱさにおける順序効果があると言える。

上記より、主効果と順序効果については帰無仮説を棄却し対立仮説を採択する結果であると言えることがわかった。よって、酸っぱさにおけるそれぞれの主成分,飲む順番における順序効果について有意な差が生じていると言える。従って、主効果,順序効果の 2 効果について推定する。平均嗜好度と順序効果の推定値は解析手法を参照して以下の表ように求められる。

表.40 酸っぱさにおける主効果の推定

i	$X_{i..}-X_{.i.}$	$\hat{\alpha}_i$
1	95	0.475
2	-94	-0.47
3	29	0.145
4	-162	-0.81
5	132	0.66

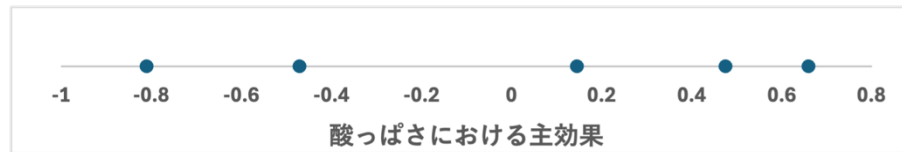


図.7 評価対象 5 つにおける酸っぱさの数直線

この数直線は上記の表を元に作成した。作成法の都合上、プロットを区別できなかったため、本キャプションにて指摘するものとする。上記数直線におけるプロットは左から 2,4,3,1,5 とする。

この図から嗜好度の観点では A1,A2 が大きく、A3,A4,A5 が小さい値となっていることが可視化できた。

次に主効果の差 $a_i - a_j$ の信頼区間を推定する。主効果は 5% の有意水準で有意と言えたためこの推定では 5% についてのみ扱うこととする。まず、解析手法で提示しているヤードスティック Y_p の計算法を参照し、 $Y_p = 0.297$ と求めた。信頼区間を解析手法の通りに、 Y_p を用いて以下のように求め示した。

表.41 酸っぱさにおける主効果の差の信頼区間

$a_{i..}-a_{.j.}$	$a_{i..}-a_{.j.}-Y_{0.05}$	$a_{i..}-a_{.j.}+Y_{0.05}$
A1-A2=0.945	0.65	1.24
A1-A3=0.33	0.03	0.63
A1-A4=1.285	0.99	1.58
A1-A5=-0.185	-0.48	0.11
A2-A1=-0.945	-1.24	-0.65
A2-A3=-0.615	-0.91	-0.32
A2-A4=0.34	0.04	0.64
A2-A5=-1.13	-1.43	-0.83
A3-A1=-0.33	-0.63	-0.03
A3-A2=0.615	0.32	0.91
A3-A4=0.955	0.66	1.25
A3-A5=-0.515	-0.81	-0.22
A4-A1=-1.285	-1.58	-0.99
A4-A2=-0.34	-0.64	-0.04
A4-A3=-0.955	-1.25	-0.66
A4-A5=-1.47	-1.77	-1.17
A5-A1=0.185	-0.11	0.48
A5-A2=1.13	0.83	1.43
A5-A3=0.515	0.22	0.81
A5-A4=1.47	1.17	1.77

この表は $Y_p = 0.297$ と主効果の推定の表を元に作成した。

この表より、 $|a_i - a_j|$ の値が Y_p よりも大きい場合、その区間で主効果が有意であると言える。それを満たす i, j の組み合わせは以下の2つの組み合わせを除く18組となる。

$$(i, j) = (1, 5)$$

$$(i, j) = (5, 1)$$

次に、1%, 5%有意水準で有意と言えた順序効果においても推定を行う。推定の計算結果を以下の表に示す。

表.42 酸っぱさにおける順序効果の推定

i	i	$X_{ij}+X_{ji}$	$\widehat{\delta}_{ij}$
1	2	-11	-0.28
1	3	4	0.10
1	4	-9	-0.23
1	5	9	0.23
2	3	29	0.73
2	4	-8	-0.20
2	5	0	0.00
3	4	-8	-0.20
3	5	14	0.35
4	5	3	0.08

この表は A_i と A_j における組み合わせ効果の推定を行なった結果を示している。 A_i が行で A_j が列で明示した。

この表から、順序効果が大きいのは絶対値が大きい要素であると言える。なぜなら 0 に近い場合、順序に影響されないと言えるためだ。つまり、順序が逆になれば正の効果が負の効果に、負の効果が正の効果に逆転すると言える。例えば、正の効果が大きい順序を逆転させると、負の効果が大きい順序と変化させることができる。そのため、正の効果が大きい組み合わせ順序を以下に示すこととする。

$$(i,j) = (2,3)$$

$$(i,j) = (3,5)$$

6. 考察

本研究では実験対象の清涼飲料水として扱ったオレンジジュースについて味,好みに関する官能評価を行えた。その解析結果について考察する。

はじめに、どのような味(甘さ,酸っぱさ)が好まれているのかについて考察する。好ましさににおける解析結果より、A4 が特に好まれている。A4 は酸っぱさでは低く推移し,甘さでは最も高く推移している。一方、特に好まれなかった A5 においては、甘さが最も低く酸っぱさが最も高く位置している。そして、上記で指摘していない A1, A2, A3 でも同様に推移することが結果からわかる。これらの主効果の検定は全て有意であると言えたため考察および主張の参考として扱える。つまり、一対比較を行った結果本実験における評価者は、甘さが高く酸っぱさが低いオレンジジュースを好む傾向にあると定量的に判断することができる。

次に官能評価を計画する場合に注意すべき点について考察する。まず、評価者選定について述べる。本実験はオレンジジュースという酸味や甘味といった大きく差のつけられる観点であった。例えば、オレンジの種類を「せとか」,「はるみ」などの糖度の強い品種に変えることで甘味を大きく変化させることができる。そのため、評価者として選定した科目履修者でも傾向を読み取れる結果を得ることができた。しかし、味が比較的薄い商品である場合は評価者を適当に選定する必要がある。例えば、寒天などでは味が薄い商品が多い。その場合、味覚を知覚する能力の低い評価者の場合、外れ値のような結果となり解析結果に大きな影響を与える場合がある。森永乳業株式会社の記事によると、「味の記憶」の蓄積が味覚形成に影響していることを報告している。そのため、あらゆる味の記憶を積み重ねてきた年長者ほど敏感になるということだ。よって、評価者が若すぎる場合、味覚が鈍感である可能性が高い。さらに、廣瀬正幸氏らによる「大学生の味覚の実態に関する研究」によると、大学生の味の認知率は旨みが 60.3%,塩味が 68.5%と 6 割ほどを推移しているのに対し、本実験で扱った甘味が 39.7%,酸味が 47.9%と低く推移している。したがって、オレンジジュースでない場合は旨みなどの認知率の高い観点を扱うのが得策であると考えられる。なので、評価者を選定する機会を事前に設けるとともに、どの程度の評価水準が求められているのかスケールする必要がある。例えば、選定する方法として、味覚検査を事前に行いその数値を計測することが挙げられる。地方独立行政法人市立秋田総合病院では科学的な味覚検査が行われている。その手順を次のページに示す。

1. 電気味覚系の電極を舌にあて、微量な電流で刺激する。
2. わずかな電気刺激で金属味が生じることを利用しがしたら手を挙げ、その時の電気の強さを記録する。
3. この検査を数回行い、平均値をその人の味覚の敏感さとする



図.8 電気味覚計

上記の方法に則れば、味覚の敏感さを定量的に計測でき評価者選定の判断基準とできると推察できる。そして、評価水準のスケーリングは開発している商品の予想売り上げや評価期間のリミットから推測することができる。このように、官能評価は「好み」という定量的でない要素を定量的に評価しようとする実験であることから、選定手段で用いる水準は高く保つ必要がある。評価者や評価時間を最短にしたり、評価者の選定、評価水準のスケーリングなどを行なったりすることで良い評価を得られると推察できる。

次に一対比較法の長所、短所について考察する。まず長所としては、主観的な判断が減少することである。先述の通り「好ましき」などは主観的な扱いにくい要素である。しかし、一対比較法を用いることで、定量的な客観的な判断が可能となった。よって、客観的な判断が可能となる点が長所として挙げられると考える。そして、汎用性が高い点も長所として挙げられる。今回は官能評価として扱ったが客観的に評価できる相対的な項目であれば比較することができる。これは、ビジネス、マーケティングでの需要分析などでも役にたつと考えられる。このような、長所がある一方で時間や労力がかかることやスケラビリティの問題などの短所も存在する。やはり、相対評価を400試行を行う場合、評価場や評価者の準備、時間など膨大に要する。さらに、評価対象が少し増えると試行数が爆発的に増加する。今回は大学であるため容易に準備で

きたが、ビジネスなどに応用する場合はコストが膨れると想像できる。そのため、中小企業などでの小規模事業では向かないと考察する。このように、一対比較法には長所、短所の両方を持つ比較法であるため場合によってスコアリング分析や回帰分析、AHP 法、ディシジョンツリー分析などから適当な方法を選定する必要があると考える。

最後に、評価者の心理状態や環境条件等が評価結果に与える影響について議論する。1 つ目に期待効果について述べる。本実験では、試料それぞれを味以外で区別することができないように紙コップに適量うつしてテイスティングした。しかし、試飲する際にオレンジジュースの色の濃さを区別できるため味覚で試料を知覚する以前に視覚での知覚を作用させてしまう。つまり、試行回数が増すことにより純粋な主効果の他に脳に記憶された期待効果が影響すると言える。例えば、1 回目で飲んだ際に酸っぱさが強いものであれば、2 回目で試飲する際に目で見て色を判断し酸っぱいものであるという前提意識のもと試飲することになる。要するに、相対的に評価しているものの、回数を重ねることで単純な一対比較評価ではなく比較対象が「以前に飲んだもの」となり複雑化する。簡易的に定式化するならば試料 i における l 回目の試行における期待効果を ω_{ij} として定義できる時、以下のように記述できる。

$$x_{ijl} = (\alpha_i - \alpha_j) + \gamma_{ij} + \delta_{ij} + \sum_{l=0}^l (\omega_{il} - \omega_{jl}) + \varepsilon_{ijl}$$

さらに、紙コップではなくラベリングされた状態でのテイスティングの場合はその期待効果の影響が強く示されると推察できる。

2 つ目に空腹・満腹効果について考える。本実験では 400 回に一対比較を本科目履修者で分担しておこなったものの、一人 7 回ほどの比較評価を行う必要がある。その過程で徐々に満腹度が上昇し飽きに近い感覚に陥る。そして、満腹時と空腹時の味覚評価には以下のように少なからず影響を与えうる。

Cabanac は、さらに、満腹感の発現を *alliesthesia* によって説明した。食物は、摂取されることによって、必然的に内的状態（身体内部の生理状態）を変化させる。この変化によって、摂取の初期段階（空腹時）には快を喚起していた食物が、それを摂取し続けることによりやがて不快を喚起するようになる。満腹感とは、このような内的状態の変化を媒介とした、食物に対する快から不快への感情変化であると考えられた。(今田純雄, 広島修道大学人文学部「食物に対する好悪が感性満腹感に及ぼす効果」, *The Japanese Journal of Health Psychology*.

1993, Vol6, No.2, 12-20)

よって、満腹度が試行回数を対応させた対数関数近似できると仮定すると期待効果を含めた式に追加し、以下のように定式化する必要がある。

$$x_{ijl} = (\alpha_i - \alpha_j) + \gamma_{ij} + \delta_{ij} + \sum_{l=0}^L (\omega_{il} - \omega_{jl}) + \log_{\lambda} f(l) + \varepsilon_{ijl}$$

さらに、実験方法でも述べた実験時に注意する項目(環境要因)も含めると多くの特徴量が挙げられると考えられる。そのため、主成分分析を用いた解析の簡易化や実験を単純化し改善するなどの実験の根本的見直しが必要があると考えられる。

7. 結論

本実験ではオレンジジュースの好みに関する官能評価を行なった。中央大学の本科目履修者による評価の結果、甘さの強く酸味の弱い評価対象が最も好まれる傾向にあることがわかった。そして今回、評価法として一対比較法を用いたが利点や欠点が混在していることから、もう一度行う場合などには適する比較法を検討することが重要であると考えた。

8. 参考文献

1. 味の素 AGF 株式会社 HP, “「おいしさ」の科学を追求する部門”,
(https://agf.ajinomoto.co.jp/enjoy/randd/born/department_main.html),
2024/06/12 取得。
2. 地方独立行政法人市立秋田総合病院 HP, 味覚検査,
(<https://akita-city-hospital.jp/departments/subject/clinical-laboratory/page-407/page-667/>), 2024/06/15 参照。
3. 株式会社森永乳業, 「味の記憶」の蓄積が味覚形成に影響する, 2011 年 9 月,
(<https://www.morinagamilk.co.jp/assets/release/1701.pdf>) 2024/06/16 参照。
4. 廣瀬正幸, 棚村壽三, 山本健, 「大学生の味感覚の実態に関する研究」, 人間と正かう環境 23(1), 1/7, 2016。
5. 出村政彬, 日経サイエンス編集部, 「辛い」の科学 痛みが美味しさに変わるメカニズム, 2022/3/24, (<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC2264P0S2A320C2000000/>), 2024/10/20 参照。
6. 今田純雄, 広島修道大学人文学部「食物に対する好悪が感性満腹感に及ぼす効果」, The Japanese Journal of Health Psychology. 1993, Vol6, No.2, 12-20, 2024/10/22 参照。

9. 付録

本項では実験で用いた試料を掲載することとする。

表 43. 2024 年ビジネスデータサイエンス学科実験 A 実験試料(4 組)

試料番号	メーカー	製品	容器	内容量
1	アサヒ	ウェルチオレンジ100	PET	800
2	アサヒ	バヤリースオレンジ20	PET	470
3	ヴィタモン	有機オレンジジュース(1リットル)	紙パック	1000
4	サントリー	なっちゃんオレンジ	PET	425
5	麒麟	トロピカーナ 100%オレンジ	PET	330

※本試料は配布試料を元に再度作成した。