

「Excel」→「js-STAR」→「R」で  
初歩の統計処理を学ぶ講座  
Part 3



## 分散分析(3)

交互作用



## Part 2の内容

復習

### •2要因計画における「主効果」の読み方

- 水準をまとめた平均値を主効果とする
  - 3水準以上の場合にも同じ
- 複数の主効果がある場合と  
一つだけの主効果がある場合



### •Rスクリプトを利用した 「結果」の記述

- 抽象的な文章が出力されるため  
実験計画とデータ入力の順番に  
合わせて修正する



## (1)交互作用 interaction

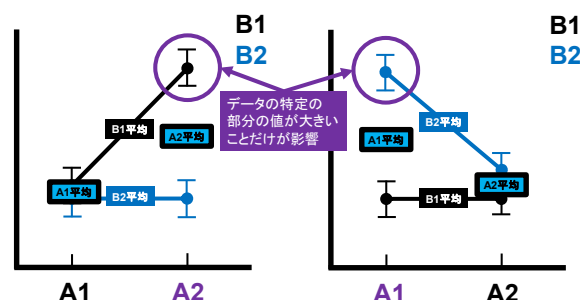
- ここまでは「主効果」だけが見られた場合のみ
- しかし分析の結果以下のような状態が発見されることも多い
  - 特定の条件下のみで認められる部分的な効果がある
  - 複数の要素が加わることではじめて生じる効果がある

こういった現象を「**交互作用**」と呼ぶ

•研究においては実は  
これがとても大切！

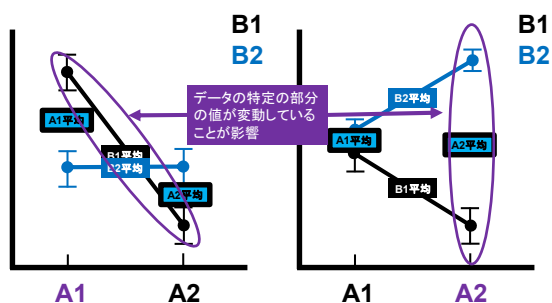


## 2要因の交互作用の例(1)



「主効果」の分析だけでは妥当な結論が出せない

## 2要因の交互作用の例(2)



「主効果」の分析だけでは妥当な結論が出せない

「交互作用分析」



## 交互作用の意味

- 仮に主効果が“有意”だったとしても  
“常に”主効果が認められるわけではない
- 特定の水準においてのみ効果が出現する
- 表面的に主効果がないように見えても実は  
データの変動が**相殺**されている



こうした観察・分析は

科学的により**意味がある**場合が多い



## 交互作用を含んだデータ分析

＜交互作用がある場合の結果の解釈＞

### • 交互作用がある場合には**主効果に言及しない**

- 主効果が“統計的に有意”であったとしても、その主効果はある特定の条件においてのみ出現した場合
- 一見主効果がないように見えても実際には水準間で相殺されている場合

### **主効果の有無を強く主張できない**

### • “交互作用分析”を行い

### **「単純主効果」を確認する必要がある**

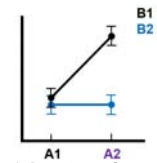
その効果が「どの水準で出現したのか」を確認する手法



## 単純(主)効果 simple (main) effect

### • 複数の水準のうち**一つだけ**を比較対象として検討した場合の効果

- 水準A1ではBの効果は認められないが水準A2ではBの効果が認められる



というような場合にこれを

**「水準A2における要因Bの単純(主)効果」**が認められると称する

交互作用が有意な場合には

必ずこの「単純効果」の分析を行う必要がある

→js-STARは交互作用が有意な場合には自動的にこれを行う



## 例題3-1 主効果と交互作用がある場合

### • 20名の学生がある単元を学ぶ際、同じ時間数だが

- 「理論を学んでから事例を学ぶ」教授法(A1)と
- 「具体事例だけを大量に学ぶ」教授法(A2)の

### **いずれかで学習を行った(各10名ずつ)**

- 参加者に「学習直後」と「1週間後」の**両方**にテストを行ったところ

「例題3-1: 主効果と交互作用がある場合」

のような成績となった(2要因混合計画)

- 教授法の相違が「テスト」の成績に影響するかどうかを検討せよ



## 操作動画

- 操作動画を確認してみましょう



## 結果グラフ

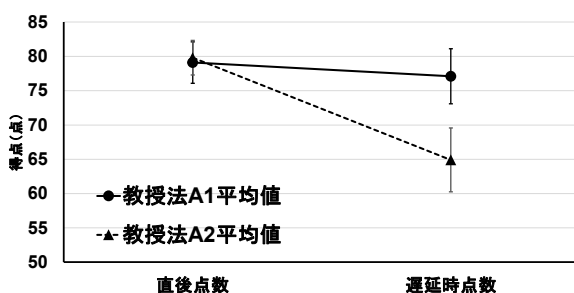


図 教授法による直後と遅延時の点数

## 分析結果の解説(1) 主効果と交互作用

S.V	SS	df	MS	F	
A	330.6250	1	330.6250	22.99 **	教授法間に差が認められる
subj	258.8500	18	14.3806		
B	714.0250	1	714.0250	47.00 **	時間経過にも差が認められる
AxB	416.0250	1	416.0250	27.39 **	
sxB	273.4500	18	15.1917		だが交互作用が有意である
Total	1992.9750	39	+p<.10 *p<.05 **p<.01		

↓  
単純主効果の検定

## 分析結果の解説(2) 単純効果の分析

### <交互作用分析表>

S.V	SS	df	MS	F	
上側は「各時間(B1・B2)」における「教授法の相違」を検定					
A at B1:	2.4500	1	2.4500	0.29 ns	直後時の相違は統計的には「ない」
(sub) at B1:	154.5000	18	8.5833		
一週間後には教授法による相違が出る					
A at B2:	744.2000	1	744.2000	35.46 **	
(sub) at B2:	377.8000	18	20.9889		
下側は「各教授法(A1,A2)」における「時間変動の相違」を検定					
B at A1:		1	20.0000	1.32 ns	教授法A1は時間的変動が「ない」
B at A2:		1	1110.0500	73.07 **	教授法A2は時間変動がある
(sxB)	273.4500	18	15.1917		

## 結果グラフ(再掲)

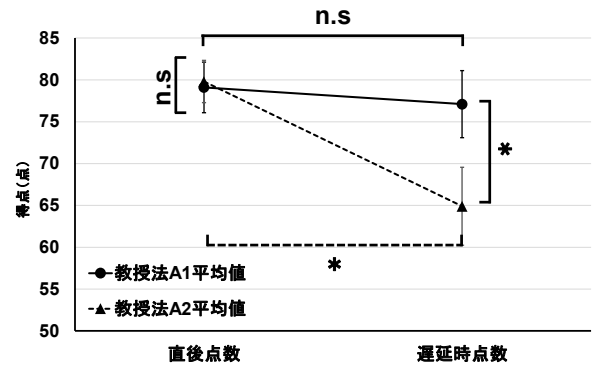


図 教授法による直後と遅延時の点数

## Rの出力を利用した記載例 修正(前半)

各群の各水準におけるテスト得点についての基本統計量をFig.○に示す。

教授法の要因を参加者間、時間の要因を参加者内に配置した2要因分散分析(Type SS使用)を行った結果 (Table○参照), 教授法の主効果が有意であり ( $F(1,18)=22.991, p<.001, \eta_p^2=0.561, 1-\beta=0.999$ ), また時間の主効果も有意であった ( $F(1,18)=47.001, p<.001, \eta_p^2=0.723, 1-\beta=0.999$ )。だが、交互作用が有意であった ( $F(1,18)=27.385, p<.001, \eta_p^2=0.603, 1-\beta=0.999$ )。

教授法・時間要因の主効果、ならびに交互作用の検出力 ( $1-\beta$ ) はいずれも十分である。なお検出力の値は水準間の相関係数を用いて算出した。

参加者間の分散の均一性についてBartlett検定を行った結果 (Table○参照)、時間の要因のいずれの水準においても有意でないことを確認した ( $\chi^2(1)s<0.27, ps>0.603$ )。

## Rの出力を利用した記載例 修正(後半)

有意性を示した交互作用について、単純主効果検定 ( $\alpha=0.15$ ) を行った。その際、参加者間効果の検定には水準別誤差項を、また参加者内効果の検定にはプールされた誤差項を用いた。

その結果 (Table○参照), 教授法の単純主効果は、直後時には差がなく ( $F(1,18)=0.285, \text{adjusted } p=.600, \eta_p^2=0.015$ )、遅延時において有意であった ( $F(1,18)=35.456, \text{adjusted } p<.001, \eta_p^2=0.663$ )。

一方、時間の主効果は、理論教授法においては有意ではなく ( $F(1,18)=1.316, \text{adjusted } p=.355, \eta_p^2=0.068$ )、具体事例教授法において有意であった ( $F(1,18)=73.069, \text{adjusted } p<.001, \eta_p^2=0.802$ )。

以上のp値の調整にはBenjamini & Hochberg (1995) の方法を用いた。

## このデータの解釈

- 学習した「直後」の点数はA1,A2共に変わらない
- 「遅延時」の点数はA1は統計的には落ちていないがA2は統計的に有意に落ちている

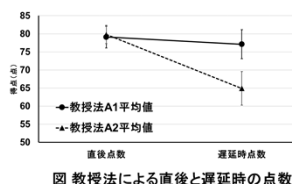


図 教授法による直後と遅延時の点数

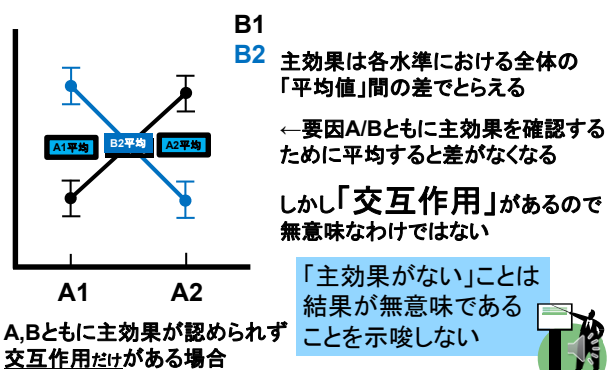
- ここから、両教授法は直後においてはパフォーマンスに差は認められないが、時間をおいての「知識の定着」には教授法A1の方が優れていることが示唆されている

統計的に差がないことが必ずしもネガティブな結論に結び付くわけではない

交互作用からデータの意味を読み取ることが大切



## 2要因の交互作用の例(相殺)(3)



## 例題3-2

主効果はなく交互作用だけがある場合

- 2種類の教授法「個別学習法」「協同学習法」を性格特性が異なる2種類の生徒10名ずつ(「外向的」「内向的」)が各々行った
- 最後に試験を行ったところ「例題3-2: 交互作用だけがある場合」のようなデータとなった(2要因参加者間計画)
- このデータを分析し「学習法」と「性格特性」の関係性を考察せよ

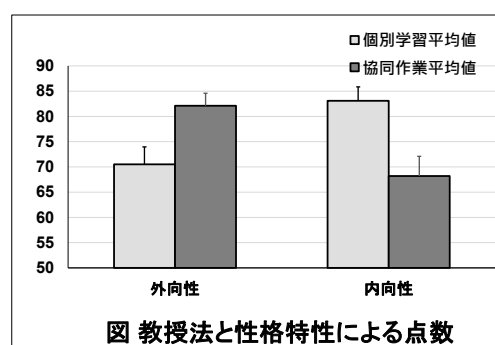


## 操作動画

- 操作動画を確認してみましょう



## 結果グラフ



## 分析結果の解説 分散分析表(1)

S.V	SS	df	MS	F	
A	27.2250	1	27.2250	2.40 ns	学習法の主効果はない
(A at B1)	672.8000	1	672.8000	59.38 **	
(A at B2)	1110.0500	1	1110.0500	97.97 **	
B	4.2250	1	4.2250	0.37 ns	性格特性の主効果もない
(B at A1)	793.8000	1	793.8000	70.06 **	
(B at A2)	966.0500	1	966.0500	85.26 **	
AxB	1755.6250	1	1755.6250	154.95 **	交互作用だけが有意
subj	407.9000	36	11.3306		
Total	2194.9750	39			

+p<.10 \*p<.05 \*\*p<.01

## 分析結果の解説 分散分析表(2)

参加者間計画の場合には分散分析表に交互作用分析も含まれている

S.V	SS	df	MS	F	
A	27.2250	1	27.2250	2.40 ns	Aにおける単純効果の検定が主効果のすぐ下に記載されている
(A at B1)	672.8000	1	672.8000	59.38 **	
(A at B2)	1110.0500	1	1110.0500	97.97 **	
B	4.2250	1	4.2250	0.37 ns	Bにおける単純効果の検定が主効果のすぐ下に記載されている
(B at A1)	793.8000	1	793.8000	70.06 **	
(B at A2)	966.0500	1	966.0500	85.26 **	
AxB	1755.6250	1	1755.6250	154.95 **	「外向性格」における学習方法の相違の効果が有意 「内向性格」における学習方法の相違の効果が有意 「個別学習」における性格の相違の効果が有意 「協同作業」における性格の相違の効果が有意
subj	407.9000	36	11.3306		
Total	2194.9750	39			

+p<.10 \*p<.05 \*\*p<.01

## Rの出力を利用した記載例(前半)

各群の〇〇得点について基本統計量をFig.〇に示す。

2要因の参加者間分散分析(Type III SS使用)を行った結果 (Table〇参照), 学習法の主効果が有意でなく ( $F(1,36)=2.403$ ,  $p=.129$ ,  $\eta_p^2=0.063$ ,  $1-\beta=.356$ ), また性格特性の主効果も有意でなかった ( $F(1,36)=0.373$ ,  $p=.545$ ,  $\eta_p^2=0.01$ ,  $1-\beta=.096$ ) が、学習法と性格特性の交互作用が有意であった ( $F(1,36)=154.946$ ,  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.811$ ,  $1-\beta>.999$ )。

交互作用A×Bの検出力 (1-β) は十分である。

参加者間の分散の均一性についてBartlett検定を行った結果 (Table(tx8)参照), 有意でないことを確認した ( $\chi^2(3)=2.242$ ,  $p=.523$ )。



## Rの出力を利用した記載例(後半)

有意性を示した交互作用について単純主効果検定 ( $\alpha=0.15$ ) を行った (Table〇参照)。

その結果, 教授法の単純主効果は, 外向性格において有意であり ( $F(1,36)=59.379$ , adjusted  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.623$ ), また内向性格においても有意であった ( $F(1,36)=97.97$ , adjusted  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.731$ )。

したがって, 外向性格の受講生において個別学習法の平均70.5が協同作業法の平均82.1よりも小さいこと, また内向性格の受講生において個別学習法の平均83.1が協同作業法の平均68.2よりも大きいことが見いだされた。

一方, 性格特性の単純主効果は, 外向性格の受講生A1において有意であり ( $F(1,36)=70.058$ , adjusted  $p=0$ ,  $\eta_p^2=0.661$ ), また内向性格の受講生A2においての有意であった ( $F(1,36)=85.261$ , adjusted  $p=0$ ,  $\eta_p^2=0.703$ )。

したがって, 個別作業法において外向性格の受講生の平均70.5が内向性格の受講生の平均83.1よりも小さいこと, また協同作業法において外向性格受講生の平均82.1が内向性格受講生の平均68.2よりも大きいことが見いだされた。

以上のp値の調整にはBenjamini & Hochberg (1995) の方法を用いた。



## このデータの解釈

- 性格特性によって得点の傾向が反対

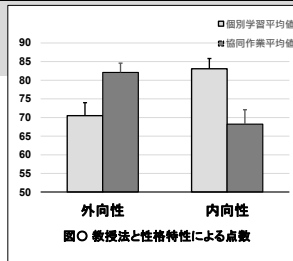


- ここから

- 外向性の生徒にとっては協同学習が向いている
- 内向性の生徒にとっては個別学習が向いていることが示唆されている

- 「適正処遇交互作用(ATI)」と呼ばれている現象  
→どちらかが絶対的に良い学習法というわけではない

交互作用からデータの意味を読み取ることが大切



## 「交互作用狙い」

- 実験的な研究においては「交互作用」を検出することを目的とした実験計画(研究)が多い

- 単純な主効果だけでは研究の意味が薄い場合
- より条件を絞った形での「効果」に意味がある場合

結果がより明確になる

意図的に交互作用を狙って実験計画を立てることも多い



## 練習問題3-1: 交互作用がある場合

<討論会による態度の変容>



「人類の未来」について“悲観的観点”と“楽観的観点”がある

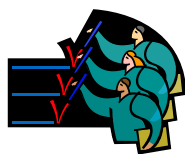
「悲観グループ」10名と「楽観グループ」10名を選んで計20名で「人類の未来」についての討論会を行った

その際、討論会の“前”と“後”に「人類の未来に対する評価アンケート(10点満点: 高いほど楽観的)」を1回ずつ行った

その結果、アンケートの平均値が討論会の前後で表のように変化した  
→「練習問題3-1 交互作用がある場合」

このデータから、討論による効果がどのようなものであったと考えられるのか。グラフを描き、分析を行って検討せよ

実験計画も自分で判断して分析する





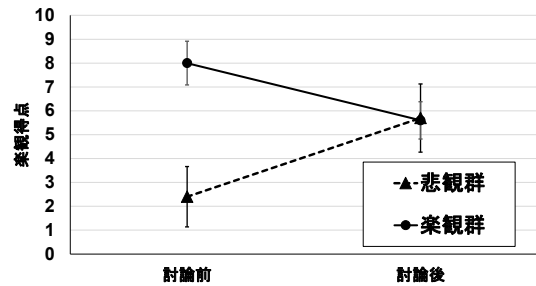
## 操作動画

・操作動画を確認してみましょう



## 練習問題のグラフ

一般的に折れ線グラフが交わる場合には  
交互作用があることが多い(延長したら交わる場合も)



図〇 討論の前後による得点の変化

## 分析結果の解説 分散分析表

S.V	SS	df	MS	F	
A	75.6250	1	75.6250	36.16 **	「グループ間」における相違の主効果が有意だが
subj	37.6500	18	2.0917		
B	2.0250	1	2.0250	2.75 ns	事前・事後の主効果は(表向き)ない
AxB	81.2250	1	81.2250	110.34 **	ただし交互作用が有意
sxB	13.2500	18	0.7361		
Total	209.7750	39		+p<.10 *p<.05 **p<.01	単純主効果の検定

この場合には主効果には言及しにくい

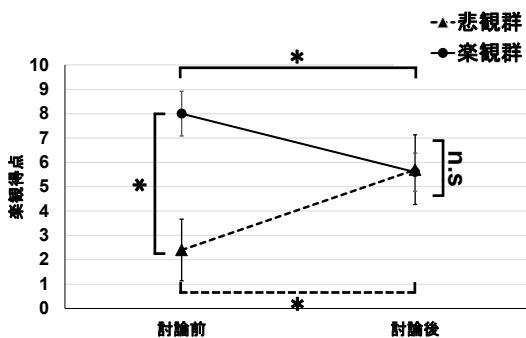
## 分析結果の解説 単純効果の検定

### <交互作用分析表>

S.V	SS	df	MS	F	
A at B1:	156.8000	1	156.8000	115.67 **	「事前」におけるグループ間の相違が有意に異なる
(subj at B1:	24.4000	18	1.3556		
A at B2:	0.0500	1	0.0500	0.03 ns	「事後」のグループ間の相違はない
(subj at B2:	26.5000	18	1.4722		
B at A1:	54.4500	1	54.4500	73.97 **	「悲観群」における事前事後の評価が有意に異なる
B at A2:	28.8000	1	28.8000	39.12 **	「楽観群」における事前事後の評価も有意に異なる
(sxB	13.2500	18	0.7361		

ただし「相違の方向」までは分散分析や交互作用分析ではわからない

## 練習問題のグラフ(再掲)



図〇 討論の前後による得点の変化

## Rの出力を利用した記載例(生出力)

各群の各水準における〇〇得点について基本統計量をTable(t0) or Fig. ■に示す。

要因Aを参加者間、要因Bを参加者内に配置した2要因分散分析 (Type SS使用)を行った結果 (Table(t1)参照)。主効果Aが有意であり (F(1,18)=36.155, p=0, np2=0.668, 1-β=0.999), 主効果Bが有意でなく (F(1,18)=2.751, p=0.114, np2=0.133, 1-β=0.71), 交互作用A×Bが有意であった (F(1,18)=110.343, p=0, np2=0.86, 1-β=1)。

主効果Aの検出力 (1-β) は十分である。交互作用A×Bの検出力も十分である。なお検出力の値は水準間の相関係数を用いて算出した。参加者間の分散の均一性についてBartlett検定を行った結果 (Table(t8)参照)。要因Bのいずれの水準においても有意でないことを確認した (χ²(1)s<2.935, ps>0.086)。

js-STARの第二種「交互作用A×Bが有意のときに...」を実行してください。

有意性を示した交互作用A×Bについて単純主効果検定 (α=0.15)を行った。その際、参加者間効果の検定には水準別誤差項、また参加者内効果の検定にはプールされた誤差項を用いた。

その結果 (Table(tkAB)参照)。単純主効果Aは、B1において有意であった (F(1,18)=115.672, adjusted p=0, np2=0.865)。

したがって、B1においてA1の平均2.4がA2の平均8よりも小さいことが見いだされた。

一方、単純主効果Bは、A1において有意であり (F(1,18)=73.97, adjusted p=0, np2=0.804), またA2において有意であった (F(1,18)=39.124, adjusted p=0, np2=0.685)。

したがって、A1においてB1の平均2.4がB2の平均5.7よりも小さいこと、またA2においてB1の平均8がB2の平均5.6よりも大きいことが見いだされた。

以上のp値の調整にはBenjamini & Hochberg (1995) の方法を用いた。

[引用文献]

Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. Journal of the Royal Statistical Society Series B, 58, 289-300.

## Rの出力を利用した記載例 修正例1

各群の各水準における評価得点についての基本統計量をFig.○に示す。

「悲観・楽観の態度」を参加者間、「討論の前後」を参加者内に配置した2要因分散分析(Type SS使用)を行った結果(Table○参照), 両要因の交互作用が有意であった( $F(1,18)=110.343$ ,  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.860$ ,  $1-\beta>.999$ )。

交互作用の検出力は十分である。なお検出力の値は水準間の相関係数を用いて算出した。

参加者間の分散の均一性についてBartlett検定を行った結果(Table○参照), 討論の前後のいずれの水準においても有意でないことを確認した( $\chi^2(1)s<2.935$ ,  $ps>0.086$ )。

## Rの出力を利用した記載例 修正例2

有意性を示した交互作用について単純主効果検定( $\alpha=0.15$ )を行った。その際, 参加者間効果の検定には水準別誤差項, また参加者内効果の検定にはプールされた誤差項を用いた。

その結果(Table○参照), グループ間の得点差の単純主効果は討論前の得点において有意であった( $F(1,18)=115.672$ ,  $adjusted\ p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.865$ )。

一方, 討論事前・事後の単純主効果は, 悲観群と楽観群において共に有意であった(悲観群:  $F(1,18)=73.970$ ,  $adjusted\ p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.804$ ; 楽観群:  $F(1,18)=39.124$ ,  $adjusted\ p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.685$ )。

以上のp値の調整にはBenjamini & Hochberg (1995)の方法を用いた。

## 論文への記載例 別案

図○に、悲観群・楽観群別の、討論の前後の評価得点を示す。これに対して2要因2水準の混合計画の分散分析を行ったところ、交互作用が有意となった( $F(1,18)=110.343$ ,  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.860$ ,  $1-\beta>.999$ )。単純主効果の検定を行ったところ、討論会前の評価値は両群が有意に異なっていた( $F(1,18)=115.672$ ,  $adjusted\ p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.865$ )が、討論会の後は両群の差異が認められなくなった( $F(1,18)=0.03$ ,  $n.s.$ ,  $adjusted\ p=.856$ ,  $\eta_p^2=0.002$ )。

両群においては、事前と事後の評価値にいずれも有意な相違があった(悲観群:  $F(1,18)=73.970$ ,  $adjusted\ p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.804$ ; 楽観群:  $F(1,18)=39.124$ ,  $adjusted\ p<.001$ ,  $\eta_p^2=0.685$ )が、その方向性は反対であり、悲観群は討論を挟んで有意に上昇し、一方、楽観群は同じく有意に低下していた。

## データからの考察例

- 事前段階では悲観群・楽観群の間には大きな評価値の隔たりが認められていたが、両者の討論会を行わせることで、両群の見解がほぼ同程度にまで収束したことがうかがえる。
- 意見交換により、両群の極端な見解が修正され、中間程度の見解に収束したことから、本テーマにおける相互の情報交換は態度変容に有効であると結論付ける。

**交互作用の解釈が大切**

これは仮想のデータ例です

## 注意: ラテン方格法の利用

- 各条件を最低限の要素で満たしてバランスをとった実験計画

		施 肥 量		
		少	中	多
品 種	1	A	B	C
	2	B	C	A
	3	C	A	B

3要因ラテン方格法の例  
Wikipedia日本語版「実験計画」より

- ラテン方格法を利用した実験計画では「交互作用」を分析できない

- 交互作用がないことを前提とした

「省略した実験計画」であるため

- 要素間に自由度が設けられていない

		施 肥 量		
		少	中	多
品 種	1	○	○	○
	2	○	○	○
	3	○	○	○

2要因の通常実験計画の例  
Wikipedia日本語版「実験計画」より

- 交互作用が想定される場合にはラテン方格法ではなく「完全な実験計画」を立てる必要がある



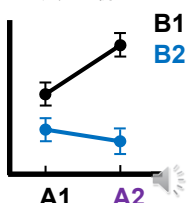
## まとめ

- 分散分析の分析結果を解釈する場合には「交互作用」を優先する

- 交互作用が有意な場合には主効果を単独で主張することはできない
- 各水準ごとに検討する(単純主効果分析)

- 交互作用のあるデータのグラフ形は「折れ線グラフにした場合にグラフが並行にならない」ことが目安

交互作用のある  
グラフの例



## 分析の流れ

1. グラフを描いてデータを解釈
2. 主効果を確認する(がいったん保留)
3. 交互作用が有意な場合: 単純効果の確認
  1. 交互作用が有意な場合には主効果に大きく言及はしない  
主効果全体に意味があるわけではなく限定的な条件においてのみ効果があるため
  2. 交互作用分析を行い各水準での単純主効果を確認  
→各「要因」において別々に分析する(2要因の場合には2つ)
4. 水準数が3以上の要因に差がある場合には「多重比較」を行う
  1. 具体的にどの水準間に差があるのかを確認する
  2. 水準間の関係を不等式or表で示す

「Excel」→「js-STAR」→「R」で  
初歩の統計処理を学ぶ講座  
Part 3



## 分散分析(3)

交互作用

<完>