

## The implicit benefit of learning without errors

J.P. Maxwell, R.S.W. Masters, E. Kerr, and E. Weedon

### Introduction

- ・ 運動学習の伝統的な理論
  - 初期：言語をベースとした，明示的なスキル獲得 **explicit, S-mode**
  - 学習が進む：スキルの自動化，無意識化(Anderson, 1983; Fitts & Posner, 1967) **implicit, U-mode**
- ・ 初期の運動学習：S-mode learning (Berry, Broadbent, 1988)
  - 仮説検証を通じた，意識的なプロセス
    - ◇ どうすればよいパフォーマンスを得られるのかという直感的な判断
    - ◇ 失敗を避けながらよい方法を選択する
- ・ 近年の取り組み
  - Explicit Implicit という仮定への挑戦
    - ◇ implicit learning , U-mode learning(Berry, Broadbent, 1988)への注目
    - ◇ implicit learning : スキルに関する言語的な知識の増加が伴わない学習(Masters, 1992)

補足：潜在学習（認知科学辞典より）

ある課題の成績は向上し学習が進んでいるにもかかわらず、どのような規則に基づいて判断しているかを意識化できない場合、そのような学習を潜在学習と呼ぶ、例えば、被験者にある人工文法に基づいた文字系列を学習させると、次にどの文字が出現するかを予測できるようになるが、どのような規則に基づいて回答しているかを明示的に答えることができない、つまり、学習は進んでいるのだがなぜ学習できるのかを意識することができないのである、潜在学習の存在を支持する研究も支持しない研究もあるが、何が意識されていないのかという「潜在性」を実験的に確認することが議論の1つとなっている

- ・ S-mode / U-mode の違い(Broadbent, 1984)
  - Abstract working memory を利用する / しない
    - ◇ ランダム文字生成課題において
      - S-mode : 反応時間が増加
      - U-mode : 反応時間が増加しない
    - ◇ implicit なプロセスに関する多様な先行研究(Cohm, Ivry, & Kele, 1990, Mulligan, 1997...) 二重課題状況におけるロバストなパフォーマンスが implicit , U-mode の特徴

- ・ 二重課題状況におけるゴルフパット課題：implicit learning を促進(Masters, 1992)
  - 二重課題（ランダム文字生成）を行いながらゴルフパットの練習
    - ◇ 明確な知識（言語的なもの）を獲ることはでないが，パットの成績は向上  
implicit に運動を学習
  - implicit learning の特徴
    - ◇ 精神的なストレスに強い（Reber, 1989,1993）
      - 例．パットをはずすと謝礼金が少なくなるというようなプレッシャー(Master, 1992)
- ・ ゴルフパット課題を用いたこれまでの研究の課題
  - 二重課題を行いながら練習した条件は，ただパット練習をした条件よりも成績が悪い(Bright & Freedman, 1988, Hardy et al., 1996, Masters, 1992)
    - ◇ 練習数を増加（3000回，先行研究は400回程度）しても同様の結果(Maxweel, Master, & Eves, 2000)  
二重課題法に変わる手法が求められる
- ・ 解決法：エラーへの注目
  - Parther(1971)
    - ◇ errorless 条件における学習は受動的な学習である  
implicit,U-mode 学習と類似
    - ◇ 試行錯誤による学習はアクティブに仮説を検証  
explicit,S-mode 学習と類似
- ・ 本研究：errorless 条件が受動的で，U-mode な学習を行い，errorful 条件がアクティブで，S-mode の学習を行うかを検討

## EXPERIMENT1

- ・ 実験1のデザイン
  - errorless 条件が受動的で，U-mode な学習を行い，errorful 条件がアクティブで，S-mode の学習を行うかを検討
    - ◇ errorless 条件：短い距離(25cm)から初めて，段々遠ざかっていく
    - ◇ errorful 条件：遠い距離(200cm)から初めて，段々近づいていく
    - ◇ random 条件（統制条件）：ランダムに距離を決定
- ・ 仮説
  - errorless 条件：明確な知識（言語報告）を余り得ることができないが，二重課題条件下において口バスタなパフォーマンスを示す．学習時のエラーが少ないので，保持テストでも引き続いてよい成績を示す．
  - errorful 条件：明確な知識を獲ることができるが，二重課題条件下でパフォーマンスが低下

## Method

### Participants

- ・ スポーツ科学部の学部生 36 名が授業の一環として参加（7 名がゴルフの経験があったため除外）
  - 条件：errorless 条件 11 名，errorful 条件 9 名，random 条件 9 名
  - 年齢：20～33 歳（平均 20.86，標準偏差 2.4）

### Apparatus

- ・ 89cm の一般的なパター，白いゴルフボールを使用
- ・ 11.5cm の穴，距離可変の人工芝のコース

### Procedure

- ・ 学習フェーズとテストフェーズの 2 フェーズ
  - 学習フェーズ
    - ◇ 50 試行を 8 ブロック（計 400 パット）
    - ◇ 距離：25,50,75,100,125,150,175,200cm
      - errorless 条件：段々遠く（25cm 200cm）
      - errorful 条件：段々近く（200cm 25cm）
      - random 条件：擬似ランダム（125,25,100,150,75,200,50,175）
    - ◇ ルール，知識，方法に対して学習フェーズで気づいたことを言語報告
  - テストフェーズ
    - ◇ 50 試行を 3 ブロック
      - 200cm の保持テスト
      - 200cm の二重課題テスト
        - 二重課題内容：1500m 秒間隔でランダムに提示される，high,low のピッチ音から high ピッチの数を数える
      - 転移テスト（300cm）

## Results

### Learning Phase

- ・ エラー数に対する仮説
  - errorless 条件は，errorful，random 条件よりもエラーが少ない
  - errorful 条件と random 条件はほぼ同じエラー数
- ・ 結果（図 1）
  - errorless 条件は他 2 条件よりもエラーが少ない ( $t(26) = 3.175, p = .004$ )
  - errorful 条件と random 条件間には差はなし ( $t(26) = -1.693, p = 0.102$ )

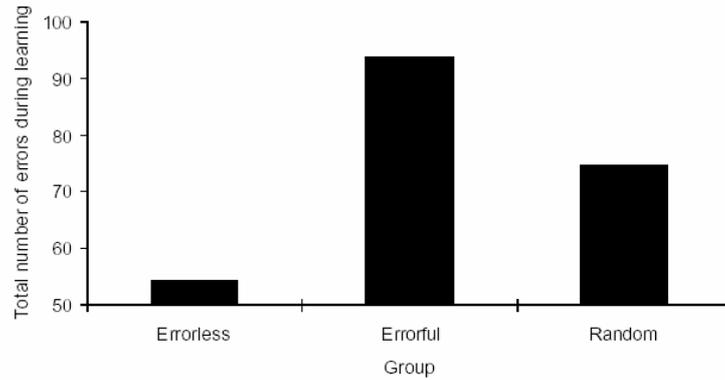


Figure 1. Mean total number of errors made by the errorless, errorful, and random groups during the learning phase.

・ 保持テスト、二重課題テスト、転移テストの結果 (図 2)

➤ 学習はおこっていたのか?

◇ errorful 条件の第一ブロック (200cm) の平均エラー数: 22.0 (SD = 4.92)

● 保持テストでの 3 条件の結果はこれよりも大きく、学習が起こっていたという証拠である

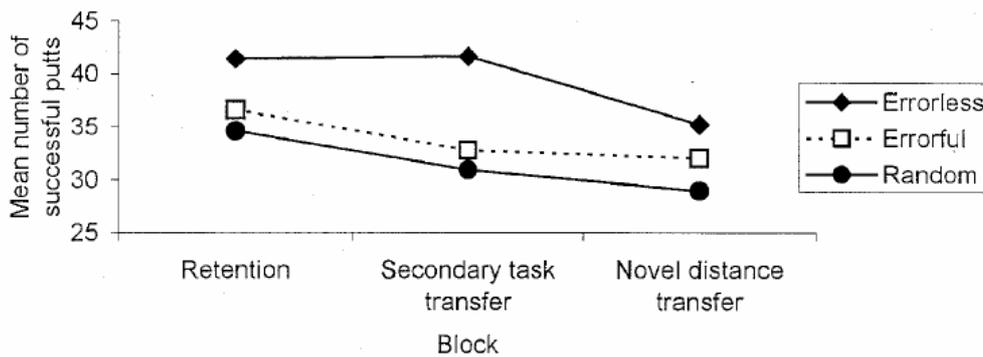


Figure 2. Mean number of successful putts made during the test phase.

・ 学習フェーズのパットの成績: Group × Block (3 × 8) の分散分析の結果

➤ Group, Block の主効果, 交互作用あり (それぞれ  $p = .005$ ,  $p < .001$ ,  $p < .001$ )

➤ 事後検定の結果

◇ 条件間に差があるのは後半 4 つの距離 (125, 150, 175, 200cm)

● 内, errorless 条件が他の 2 条件よりも有意に成績が良かったのは 125, 150, 200cm

➤ 175cm は errorless 条件と random 条件間に差がなかった

➤ 3 条件ともに最長距離 (200cm) で最も成績が悪かった

◇ ブロックの効果を説明

➤ 長距離で errorless 条件が他の条件よりも成績が良かった

◇ 交互作用を説明し, errorless 条件が良いという仮説を支持

### *Retention test*

- ・ 仮説：学習フェーズと同様に errorless 条件がよい結果を示す
- ・ 結果
  - errorless 条件は他 2 条件よりも成績がよい ( $t(26) = 2.721, p = .01$ )
  - errorful 条件と random 条件間には差はなし ( $t(26) = 0.761, p = 0.761$ )仮説を支持

### *Secondary task transfer test*

- ・ 仮説：errorless 条件は U-mode な学習を使い、二重課題でも強固な成績を示す
- ・ Group  $\times$  Block (3  $\times$  2) の分散分析の結果 (Block：保持テスト，二重課題)
  - Group, Block の主効果，交互作用あり (それぞれ  $p = .004, p = .003, p = .047$ )
    - ◇ 事後検定の結果
      - 保持テスト，二重課題において errorless 条件が他の 2 条件よりも成績がよい
      - errorless 条件は成績が低下しないが，他の 2 条件は成績が低下errorless 条件は二重課題の影響を受けない
- ・ 二重課題の成績が原因？
  - 二重課題の正確さの比較
    - ◇ 正解率 (正確にカウントできていた割合) に条件間に差は認められず ( $F(2,28) = 1.31, p = .29$ )
    - ◇ 正確さと二重課題の成績の間の相関はなし ( $r = .135, p = .486$ )二重課題に対する資源の割り当てが成績の差の原因ではない

### *Novel distance transfer test*

- ・ 仮説：errorless 条件は他の条件よりも成績が良い
- ・ 結果
  - errorless 条件は他 2 条件よりも成績がよい ( $t(26) = 2.36, p = .026$ )
  - errorful 条件と random 条件間には差はなし ( $t(26) = 1.26, p = 0.22$ )仮説を支持
- ・ errorless 条件は全体的に成績が良かったからでは？
  - 保持テストと転移テストの成績の変化を検討
    - ◇ 条件間に差はなし保持テストから転移テストへの落ち込み方は全条件同程度である

### *Verbal protocols*

- ・ 言語報告の成績の検討
  - 2 名の評定者が条件を伏せられて評定
    - ◇ 評価観点
      - 技術に関するもののみをカウントし，技術に関しないものは除外
        - カウントするものの例：「左手を右手の上に重ねて」「足は肩幅に開く」
        - カウントしないものの例：「この部屋暑い」「3 回ごとに良かったり悪かったりだ ...」

◇ 結果（評定者間一致率：.91）

- 条件間に差はなかった（平均 errorless 条件 4.27, errorful 条件 3.11, random 条件 4.22）
  - ただし, errorless vs. errorful と random の平均

## Discussion

- ・ errorless 条件は保持テストの成績が良く, 二重課題においても成績が低減しなかった  
errorful 条件は S-mode, errorless 条件は U-mode だったことを示す
- ・ errorless 条件が保持テストで成績がよかったのは, 保持テスト前の最終ブロックが 200cm だったから?  
(errorful 条件は最終ブロックが 25cm)  
random 条件の最終ブロックは 175cm で errorful 条件と差がないのでそうではない
- ・ errorless 条件は U-mode の学習であり, 言語的な知識の向上は伴わないと仮定されるが, この仮定は認められなかった
  - 厳重な検討の結果, errorless 条件は 4 ブロック目 (100cm~) から多くのエラーが生じていた
    - ◇ 後半には, explicit な学習になっていた可能性がある  
実験 2 で検討

## EXPERIMENT 2

- ・ 実験 1 からの変更点
  - 最初の 3 ブロックのみに変更
    - ◇ errorless:20,50,75cm
    - ◇ errorful:175,150,125cm
  - 転移テストを 100cm に
  - 二重課題の効果の検討のために, 統制条件を追加
    - ◇ 二重課題を行う / 行わない
  - ビデオ撮影を行い, 技術の変化を検討
    - ◇ S-mode は仮説検証方略なので, 変化が大きいはず

## Method

### Participants

- ・ 58 名の大学学部生 (ボランティア), 内 3 名がゴルフ経験者であったために除外
  - 条件: errorless 実験条件 14 名, errorless 統制条件 13 名, errorful 実験条件 14 名, errorful 統制条件 14 名
  - 年齢: 18 ~ 34 歳 (平均 21.02, 標準偏差 2.81)

### Apparatus

- ・ 実験 1 の装置に加え, Panasonic の VHS カメラを使用
  - 被験者の動きを前と左から撮影

*Procedure*

- 学習フェーズとテストフェーズの2フェーズ
  - 学習フェーズ
    - ◇ 50 試行を 3 ブロック
      - errorless 条件 : 25,50,75cm
      - errorful 条件 : 175,150,125cm
    - ◇ ルール, 知識, 方法に対して学習フェーズで気づいたことを言語報告
  - テストフェーズ
    - ◇ 50 試行を 1 ブロック
      - 100cm の転移テスト
        - 実験群は二重課題を行う
          - ◇ 二重課題内容 ( : 1500m 秒間隔でランダムに提示される , high,low のピッチ音から high ピッチの数を数える

**Results**

*Learning Phase*

- 学風フェーズのパットの成績 : Group × Block ( 4 × 3 ) の分散分析の結果
  - Group, Block の主効果 , 交互作用あり (それぞれ ,  $p < .001$ ,  $p = .03$ ,  $p < .001$ )
  - 事後検定の結果
    - ◇ errorless 条件 ( 実験 , 統制双方 ) が errorful 条件 ( 同じく双方 ) よりも成績がよい
    - ◇ errorless 条件は段々成績が低下 , errorful 条件は段々向上
- 学習フェーズ時のエラー数 ( 図 3 )
  - errorful 条件は , errorless 条件よりもより多くのエラーが生じていた ( $p < .001$ )
  - 両条件ともに実験群と統制群の差はなし

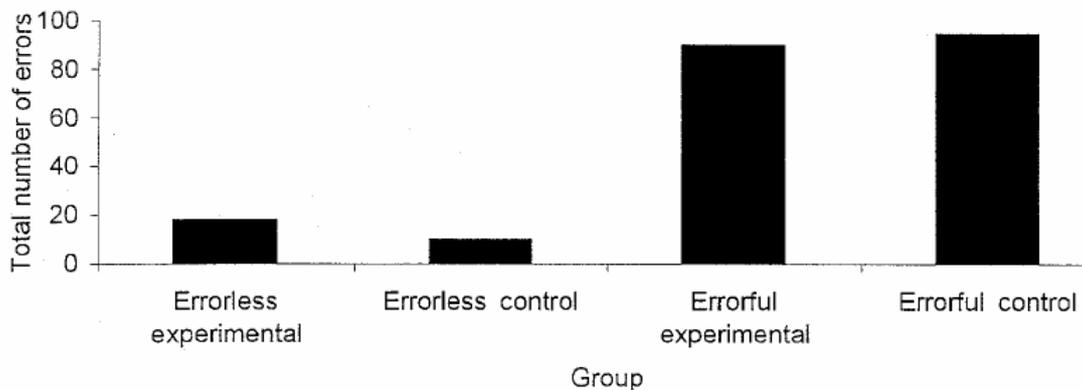


Figure 3. Mean total number of errors made by each group during the learning phase.

### Transfer test

- Group × Block (4 × 2) の分散分析は行わず, Group × Block (2 × 2) の分散分析を行う
  - 条件により異なった距離から転移テストに移るため (errorless 条件は 75cm, errorful 条件は 125cm) に困難度が変わると予測されるため
  - 結果 (図 4)
    - ◇ Errorless 条件
      - Block の主効果あり ( $p = .002$ )
      - Group の主効果, 交互作用はなし
      - Errorless 条件の実験群は二重課題の影響を受けない
    - ◇ Errorful 条件
      - Block の主効果, 交互作用あり ( $p < .001, p = .007$ )
      - Group の主効果はなし
      - Errorful 条件の実験群は二重課題で成績が低い: 二重課題の影響を受ける
    - ◇ 二重課題の正確さ
      - 条件間に差はなし
        - errorless(実験群): 平均 95.16%, errorful (実験群): 平均 95.32%

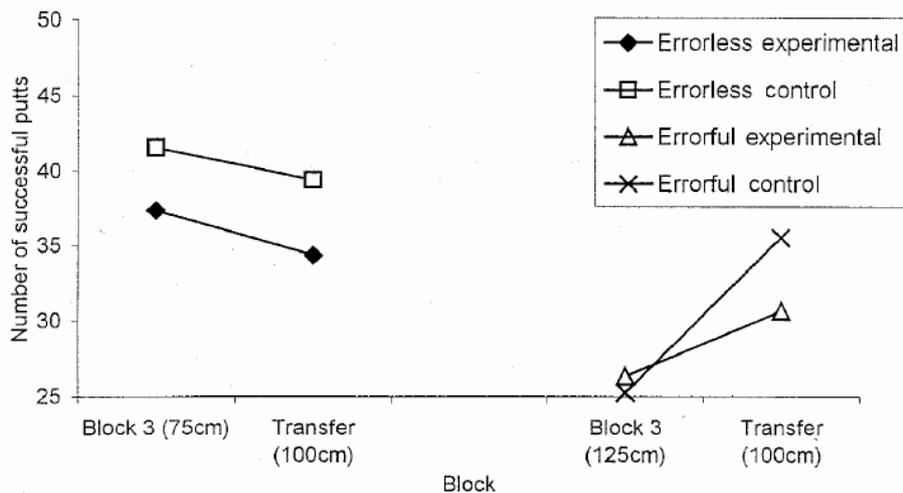


Figure 4. Mean number of successful putts made during the last block of the learning phase (Block 3) and during the transfer test (transfer).

### Verbal protocols

- 実験 1 と同様の手続きで検討 (評定者間一致率: 0.91)
  - 結果: 図 5
    - ◇ 予想と異なり, 条件間に差はなし

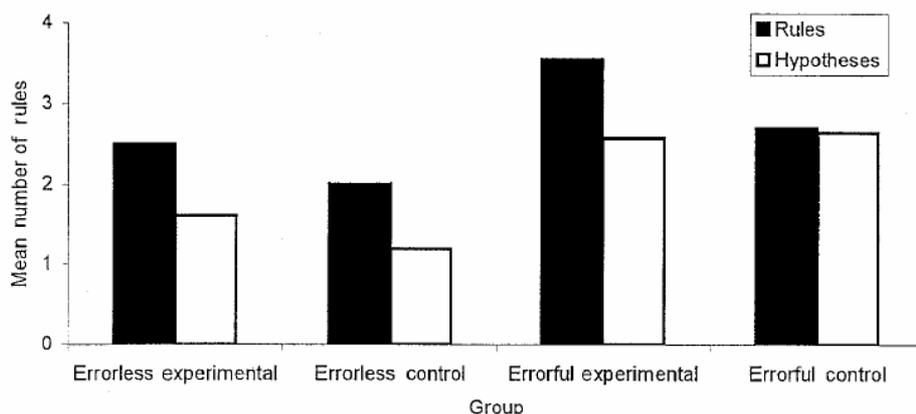


Figure 5. Mean number of rules and hypotheses reported by each group following the learning phase.

- 元々の概念では，S-mode leaning は仮説検証型を取るはずだが ...
  - ◇ 例 .「左手を右手の真下において ...」
- しかし，学習時に実際にそのようなことをやっているかどうかは分からない
  - ◇ 学習フェーズの最後に，「ルール」を回顧的には覚えているけれども，実際に学習時には考えていない (Beery & Broadbent, 1984, Ericsson & Simon, 1984, Rober & Lewis, 1977)
    - そうならば，このまま結論してはならない ...
- 言語報告の追加分析
  - ◇ 仮説を検証するようなステートメントを追加
    - 例 .「もっと入れるために，足をもっとボールに近づける」「ボールが右にいったら，次は左目に打つ」
  - ◇ 回顧的なステートメントは除外 (仮説検証でないため)
    - 例 .「ひざが曲がっていた」「足がバラバラだった」
    - これらの分析はより仮説検証を反映する
  - ◇ 結果 (評定者間一致率：.94)
    - errorful 条件がより多く言及 ( $t(51) = -3.90, p < .001$ )
    - 両条件ともに，統制条件と実験条件間に差はなし
    - errorless 条件は U-mode, errorful 条件は S-mode だった
  - ◇ この観点で実験 1 の結果を再分析 (評定者間一致率：.91)
    - 分散分析の結果，条件の主効果 ( $p < .01$ )
      - errorful 条件が，errorless 条件，random 条件よりも多く言及
      - errorless 条件，random 条件間には差がなし
      - errorless 条件は U-mode, errorful 条件は S-mode だった

### Video analysis

- 明確な技術の変化：学習時における仮説数を反映
  - 調整数をカウント
    - ◇ 例 .足の配置，握り方，ひじの曲げ方，ボールに対する身体の位置など
    - ◇ カウントの基準：2 試行以上連続した場合にカウント
  - 結果：図 6 (評定者間一致率：.96)

◇ errorless 条件がより多くの調整を行っていた ( $p < .001$ )

- 両条件ともに、統制条件と実験条件間に差はなし

言語報告の追加分析を支持する結果

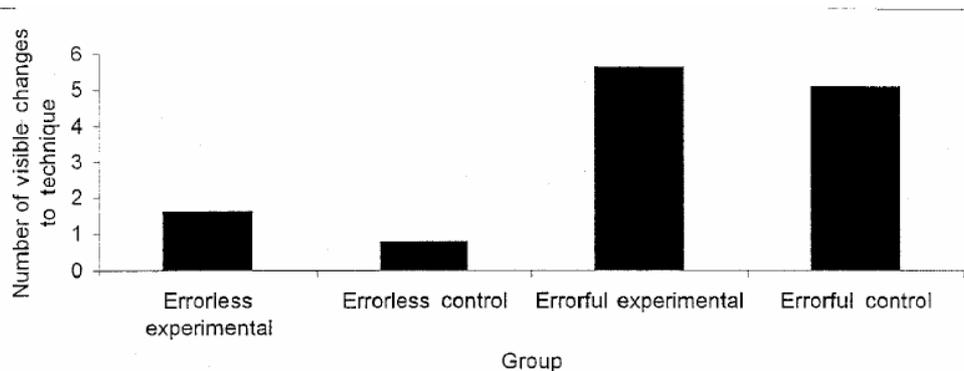


Figure 6. Mean number of visible adjustments to the putting technique made during the learning phase.

## Discussion

- ・ 実験の結果 errorless 条件は非選択的な学習モード(implicit,U-mode)という主張が確認された
- ・ 技術的な法則に関する言語報告は、またしても差はなかった
  - しかし、追加分析の結果、errorful 条件は仮説検証方略を用いていることが確認された

## GENERAL DISCUSSTION

- ・ 本研究では、errorless 条件下での学習の可能性を検討
  - 仮説
    - ◇ errorful 条件：仮説検証方略，explicit な学習方略
    - ◇ errorless 条件：仮説検証することなく受動的な学習，二重課題においてロバストなパフォーマンスを示す
  - 両実験の結果，エラーにより，選択的 (explicit,S-mode)，非選択的 (implicit,U-mode) な学習が扇動されることが示唆された
- ・ 先行研究と比較し，errorless 条件の成績が良かったのはなぜか？
  - 先行研究による成績の悪さは，ガイドされない学習による
    - ◇ ガイドの例．スキーシミュレータにおいてポールによる支援 (Wulf, 1998)
  - 本研究の errorless 条件は，ガイドは行っていないけれど，学習フェーズの初期段階で正しい運動パターンを覚えたのではないか
  - 本研究で用いたパット練習機は，平らで均質なものだったことも原因
- ・ implicit 条件における二重課題条件下のロバストなパフォーマンス
  - 注意を必要とする / しない学習メカニズムによる (Curran & Keele, 1993)
- ・ 結論
  - エラーが頻繁におこる学習条件下では，エラーが少ない学習よりも，explicit で注意を必要とする学習となる
  - 二重課題条件下におけるロバストなパフォーマンスはスポーツの領域では重要
  - プレッシャー状況下での errorless 学習など更なる検討が求められますね