

# より公正で効果的な物理教育の提供

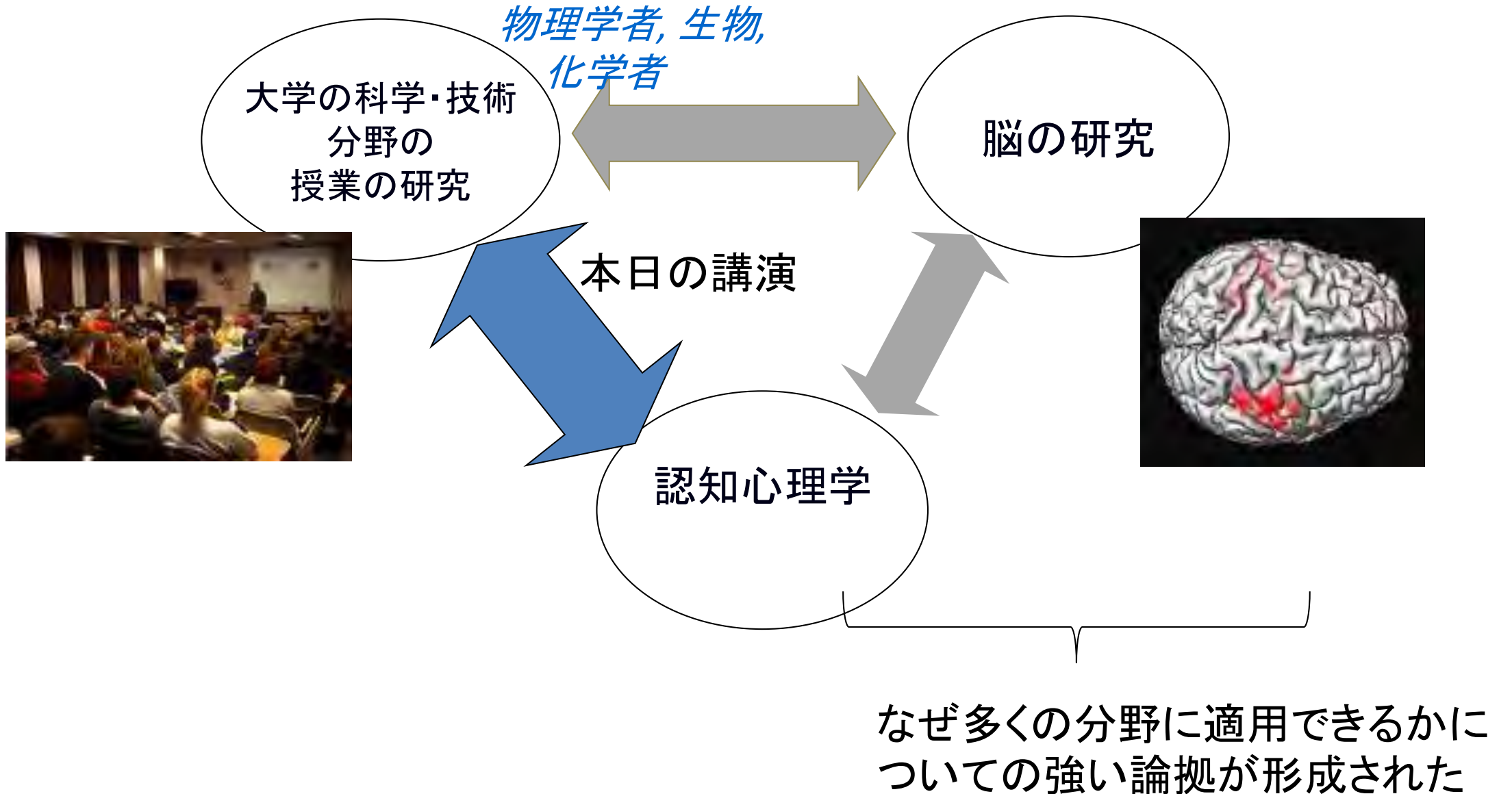
カール ワイマン  
スタンフォード大学  
物理学科 および 教育大学院

このスライドのコピー  
は入手可能である

\*私自身の科学教育研究グループを含む多くの人々の研究結果にもとづく

# 過去20年ほどの間の大きな進歩

⇒ 複雑な思考をどのように学び、また教えるかに関する新しい洞察



# どのように学習が起きるかの再考

## 古い/現在のモデル



知識



しみこみかたが、脳によって異なる

焦点は以下に置かれている:

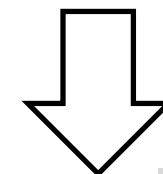
- 最良の脳(受け皿)を選ぶ
- 知識のスープを注ぎ込む

## 新しい、研究に基づく見方

脳は可変である



~ 同等



変容



ニューロンを集中的な思考によって変化させる。能力が改善される。

放射線技師

RADIOLOGIST  
Right Left



MED. STUDENT



医学部生

X線画像を解釈中の脳のfMRIの比較

fMRI-- interpreting x-ray image

脳研究- 学習は関与するニューロンの結合を促進する—筋肉の発達と同様に。  
練習の 強度 と タイプ が決定的に重要である。

研究者は、より効果的な教え方を学びつつある — 脳は新たな能力を開発する

それは、現在のテストベースのシステムと競合する。将来の成功を予測できるような、生まれつきの能力テストは存在しない。過去の教育機会について測定しているだけで、将来の能力を測定することはできない。

## 大規模の入門授業における学習\*

同等な学生で構成される2つの授業セクションにおける学習効果を比較した。各270名の学生。

British Columbia大1年生の工学系志望者向け物理



**コントロール群**--標準的な講義授業-- 学生による評価が高い、経験豊富な教授が担当  
**実験群**-- Ph. D.取得から間もないが「研究に基づく授業」の原理と方法の訓練を受けた若手が担当。

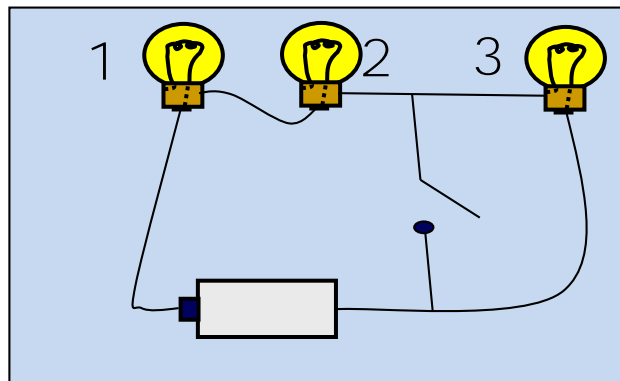
かれらは以下の点に同意した:

- 同じ教材をカバーする (*Cover as much?*)
- 同じ授業時間 (1 週間)
- (二人が共同で準備した) 同じ試験を次の授業の冒頭で実施

\*Deslauriers, Schelew, Wieman, *Sci. Mag.* May 13, '11

## 実験群:

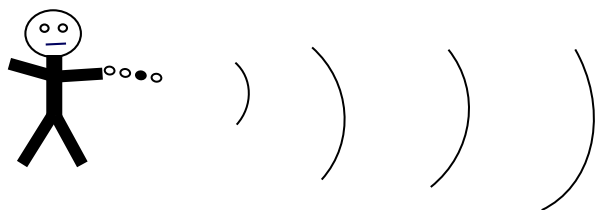
1. 授業前に読むべき読書課題—授業時間を無駄にせずに基礎知識と用語を学ぶ
2. 授業は問いから始まる: 例



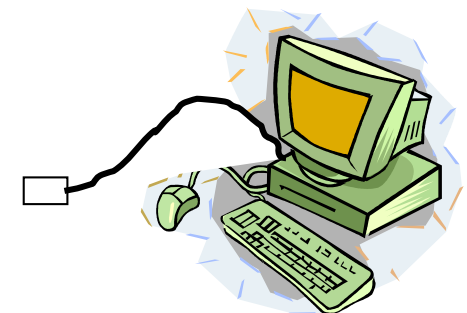
スイッチが閉じられたとき、電球2は、

- a. 同じ明るさのまま
- b. 明るくなる
- c. 暗くなる
- d. 消える

3. 各個人がクリッカー/スマホで答える



ジェーン・スミスは  
aを選んでる



4. 近くの学生同志で議論し、再度投票する。(「ピア・イストラクション」)  
**授業者は 教室内を回り、会話に耳をかたむける!**

学生の思考はどのような面が物理専門家と似ていて、どのような面が似ていないか?

5. 結果を演示あるいは示す

6. 授業者はまとめをする- どのモデルとどの推論が正しかったか、さらにどれが間違っていてそれはなぜかについてフィードバックする。多くの学生質問。

*より数学的なトピックの場合、学生はワークシートに書き出す。*

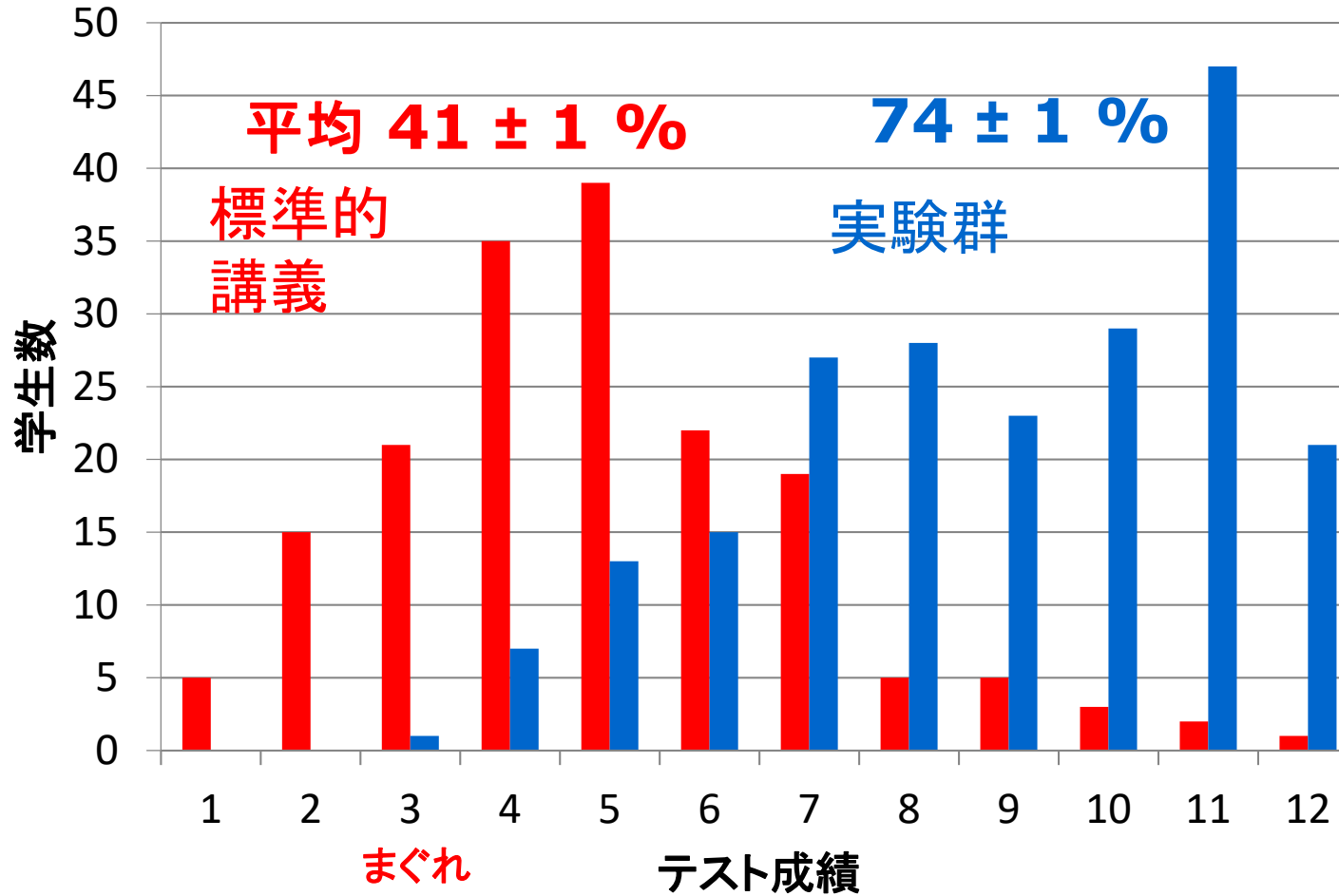
学生たちは物理学者のように考えることを練習する--

(概念的モデルを選択し, 適用し, テストし, 推論を批判的に論じる...)

フィードバック-他の学生, 授業知識を持った授業者, 演示実験

両方のセクションで同じ不意打ちの小テストが実施された。

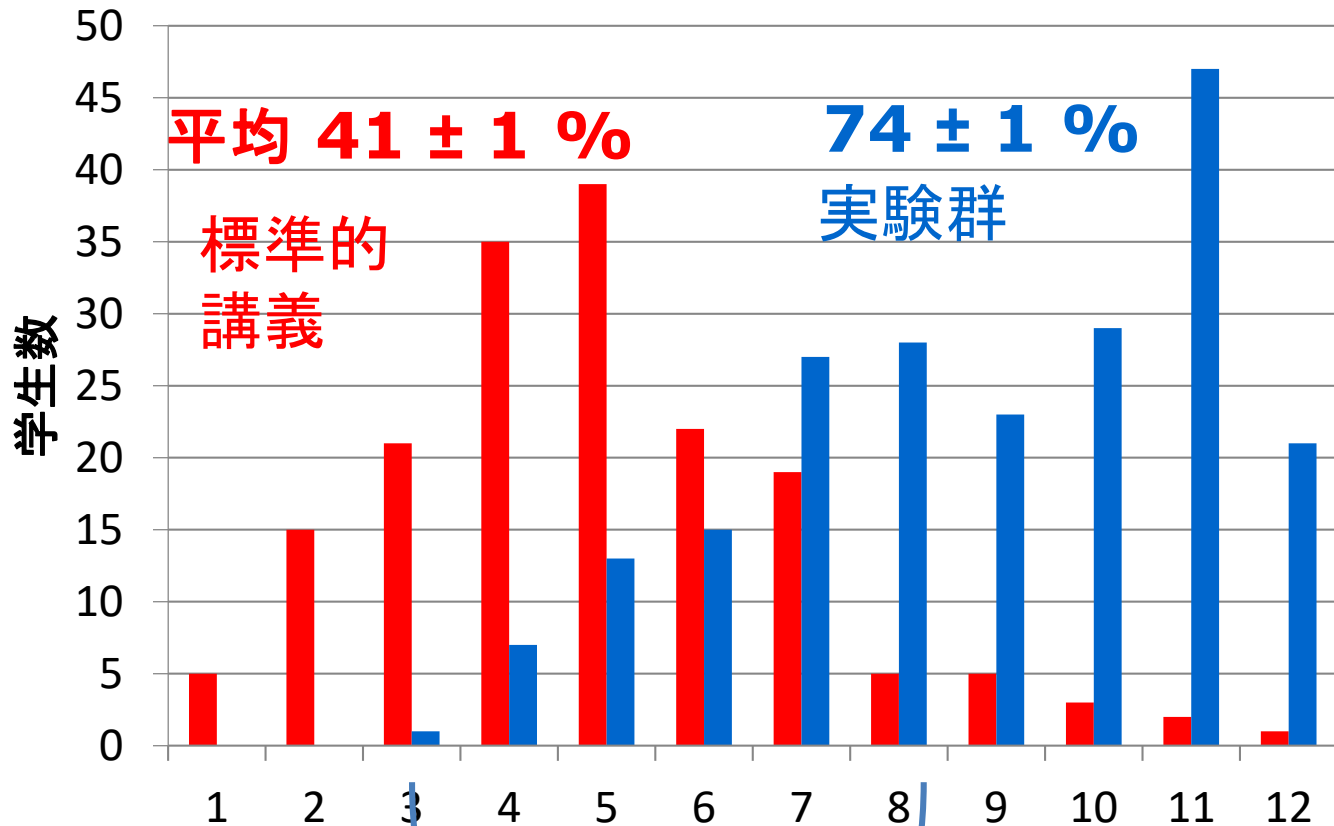
# テスト成績の度数分布



講義からの学習は僅か。  
学生集団全体に対して明白な改善効果があった



# しかしどうしたら分布を狭めることができるか？



全員をトップへ移動させる？  
スタンフォードの学生

よい授業方法だけでは十分ではない？

他のファクターは？

多くの事柄に関するデータを収集  
多くの統計  
(多変量回帰分析)

何が重要か？

履修している数学？- 違う  
デモグラフィック  
(人口統計学的)な要素？

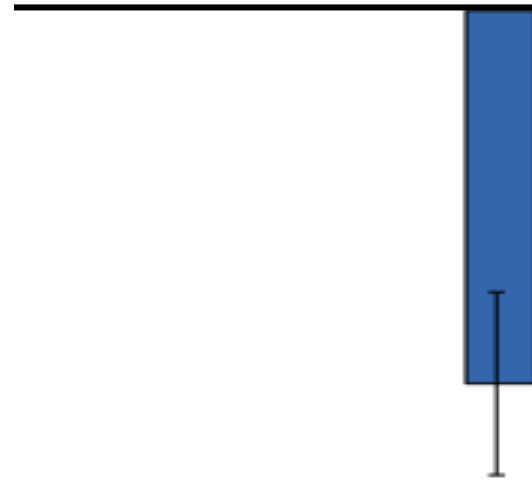
# デモグラフィックグループによる成績ギャップの源泉

少数民族  
URM

第1世代  
FGEN

女性

0



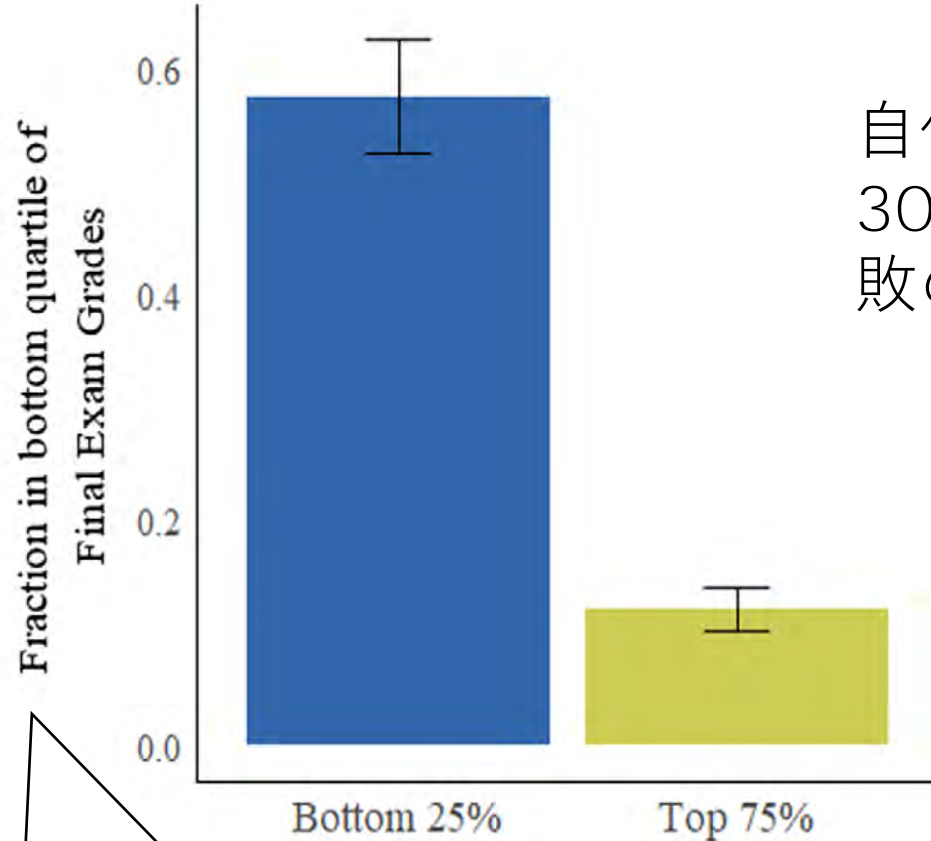
- 数学の SAT/ACT (一般的な数学と科学の準備)について制御
- 数学の SAT/ACT + 物理学の内容FMCEについて制御

「事前の準備」の測定結果を含めるとすべてのデモグラフィックギャップが消える。「準備」のギャップのみ。

「準備」はコース成績の強力な予測因子である。しかし、それはすべての学生に当てはまる。

# 成績の「入学前準備」に対するこの依存性が重要なのはなぜか？

「物理1」での成績不振は、以降の物理や工学の専攻への障壁になる。  
「失敗の分析」—不合格の確率は「準備」にどのくらい依存しているか？



自作の診断的テストを作成した。  
30分、分散の2分の1以下程度まで、失敗のリスクのほとんどすべてを説明する

「準備」すなわち幼稚園から第12学年（高校3年）までの教育の質における差異が大学での教育で増幅される。

入学時の準備

最終試験成績が最下位1/4に属する割合

**スタンフォード大学とコロラド大学（およびコーネル大学）とで学生集団は非常に異なるのに、「準備」のファクターに対する依存性は同様だった!**

⇒ *授業の性格に依存している, 学生側の性格にはではない*

これらの大学では授業のカバー範囲とペースを、「準備」の程度が最上位の1/3の学生に向けて最適化している。

「準備」すなわち学習履歴を、才能と混同している。

**解決法—カリキュラムを学生に合わせることで、そうすればより多くの学生が成功できる\***

\*Preliminary indications--“An equitable and effective approach to introductory mechanics”, <https://arxiv.org/abs/2111.12504>, Burkholder, Salehi, Sackeyfio, Mohamed-Hinds, Wieman

# すべての学生が成功できるコースの設定

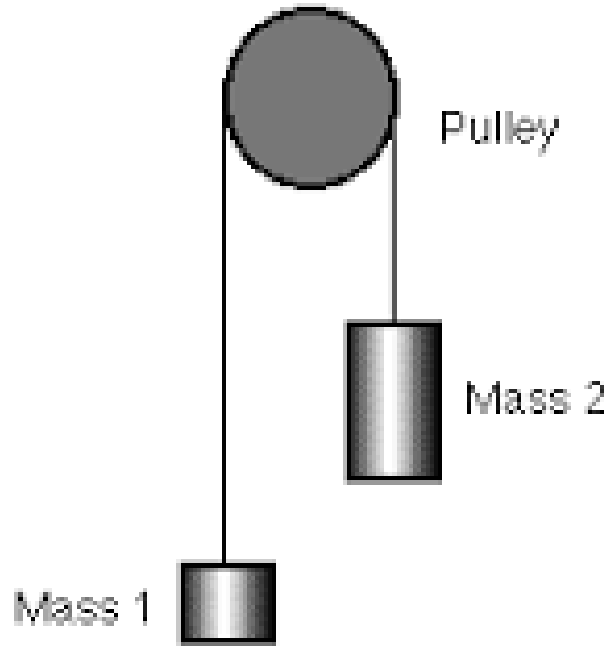
代替的なアプローチ — 高校で扱われていないが、その後のコース（工学その他）で成功するためのスキルを学生に身に付けさせる物理を教える\*

現実世界の問題解決を教える

- 現実的な問題
- 問題解決の過程でなされる判断を明示する

\*E. Burkholder, ... C. Wieman, Equitable approach to introductory calculus-based physics courses focused on problem solving, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 18, 020124 –2022

# 物理クラスでの授業の問題 対 現実世界の問題



典型的な物理教科書問題

おもりの加速度を計算せよ。

滑車と糸に質量はなく、またまさつはないものと仮定せよ。

現実世界の(「真正の」)問題

あなたはピンボールマシンを設計する技師である。典型的なピンボールをゲーム機の一番上まで到達できるように発射するのに必要なばね定数を求めよ。

多くの判断がさらに必要となる。

このコースは、研究結果にもとづく実践と効果的な問題解決に必要な判断をもとめられる機会を繰り返し提供する。

- 現実世界の問題を解く
- 問題解決テンプレート（後述）を用いて、判断する。
- 授業者によるガイドのもとで、定期的なフィードバックを受けながら、小グループにわかれて活動する

## ワイマン・グループの研究

科学・工学・医学の熟達者はどのように真正の問題を**解くか**

限られた情報の下で一連の判断の実施で定義されるプロセス

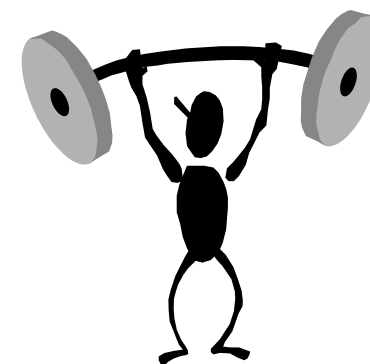
**あらゆる科学および工学において、同じ29の判断のセットが登場する!**

- 判断: どんな概念/モデルが関係するか
- 判断: どんな情報が関係するか, 関係ないか, 必要か
- 判断: どんな近似が適切か
- 判断: 追究すべき可能性のある解法(あるいは複数の)
- ....
- 判断: 解/結論は意味をなすか、どのように検証するか?

しかし、判断する ことは、特別な領域の知識を必要する。**最適になるように組織された形の。**



問題解決の判断を行う練習をする  
真正な問題のコンテキストで、専門領域の知識を用いながら



脳の  
「鍛錬」

典型的なコース問題では、これらの判断のほとんどすべてが取り除かれている!

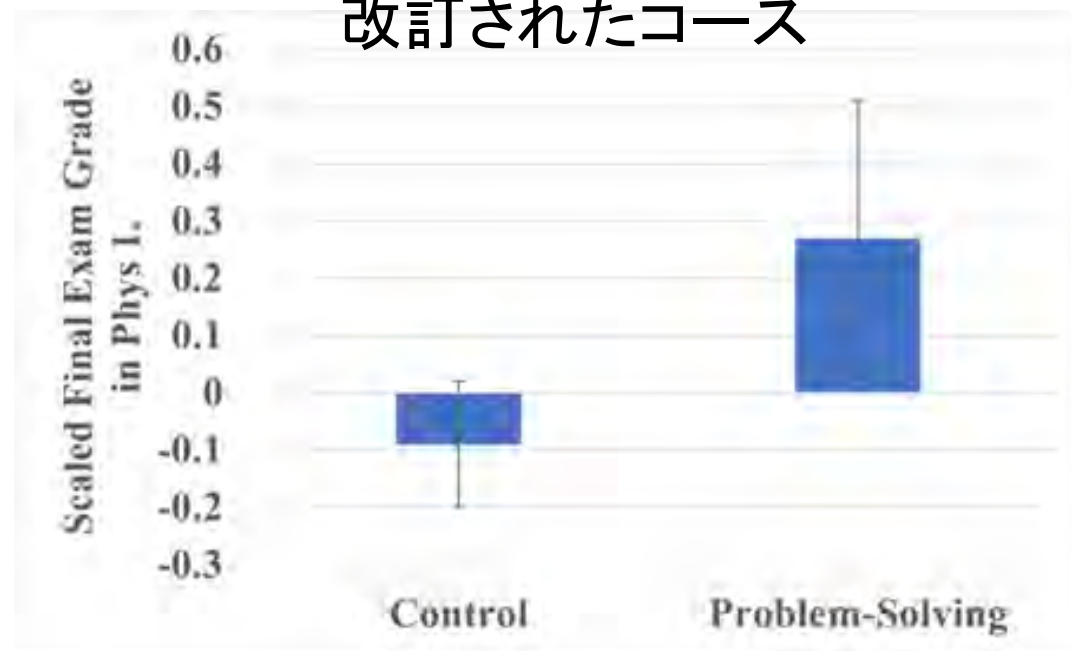
学生は情報を学ぶが、その使い方を学ばない!

## 問題解決テンプレート- コースを通じて使用されたもの

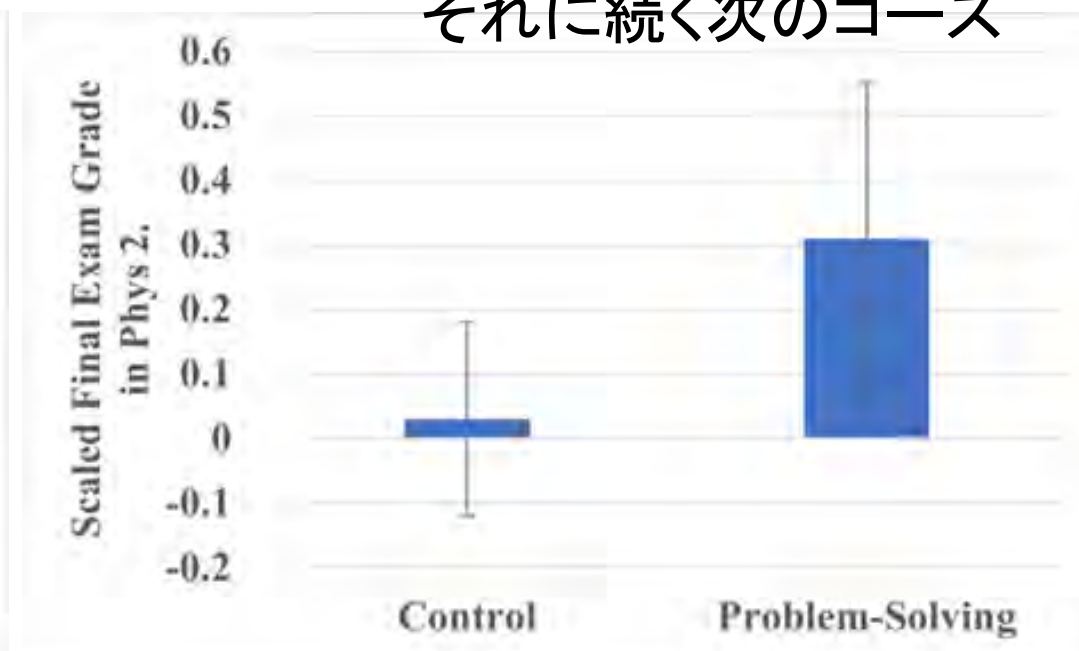
問題解決の練習 [32]	問題解決の判断	テンプレートのステップ
問題の定義	<ul style="list-style-type: none"> <li>この問題に対する諸ゴールは何かを判断する</li> </ul>	該当なし
問題のフレーミング	<ul style="list-style-type: none"> <li>重要な背景的特徴は何かを判断する</li> <li>どの予測的な枠組みが関連するかを判断する</li> <li>どんな情報が関係し/重要であるか、必要であるかを判断する</li> <li>以前に見た関連する問題は何かを判断する</li> <li>この状況に適合するために予測的な枠組みをどのように修正する必要があるかを判断する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>視覚的表現</li> <li>関連する概念</li> <li>類似問題</li> <li>仮定と単純化</li> <li>必要となる情報</li> </ul>
問題の分解と計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>どのように問題をより扱いやすい小問題に分解するか判断する</li> <li>何を優先すべきか判断する</li> <li>問題を解くためにどんな情報が必要か判断する</li> <li>追加的な情報を得る特定の計画について判断する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解決の計画</li> <li>大まかな見積り</li> </ul>
データの解釈	<ul style="list-style-type: none"> <li>どんな計算が必要か判断する</li> <li>新しく入手した情報が期待と合致するかどうか判断する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実行</li> <li>見積りとの比較</li> </ul>
解決に対する振り返り	<ul style="list-style-type: none"> <li>仮定が依然として通用するか判断する</li> <li>追加的な情報が必要か判断する</li> <li>解答はどれだけよく通用するか判断する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>限界のチェック</li> <li>単位のチェック</li> <li>行き詰まりを打開する</li> </ul>

## コースの結果(規格化された最終試験成績)

改訂されたコース



それにつながる次のコース



コントロール群 - 伝統的な内容と教授法

学生たちは多かれ少なかれ入学時の「準備」に依存して学習した

入学時の「準備」との相関性

実験群 0.55-0.62, 問題解決型授業 0.14-0.26

結論- 脳はそれが練習したことを学ぶ。新しい能力を発達させる。  
これまでは、教育的な優遇を能力と混同してきた。  
よい教え方によって、ほとんどすべての学生が成功する。

よい参考文献:

- D. Schwartz et. al. "*The ABCs of how we learn*"
- Wieman, "*Improving How Universities Teach Science*"
- A Detailed Characterization of the Expert Problem-Solving Process in Science and Engineering: Guidance for Teaching and Assessment, A. Price et al, ://doi.org/10.1187/cbe.20-12-0276
- Equitable approach to introductory calculus-based physics courses focused on problem solving, E. Burkholder, ... C. Wieman, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 18, 020124 –2022
- Demographic gaps or preparation gaps?: The large impact of incoming preparation on performance of students in introductory physics, S. Salehi, et al., Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 15, 020114 –2019

# 専門家のように考える (判断を下す)ことを教えること, 研究が示唆している重要なこと

