

1 はじめに

社会の変化は目まぐるしく、ここ数十年のうちに、電卓、洗濯機、携帯電話、インターネットが登場し、社会の仕組みや必要とされる職業も変化してきた。さらに今後コンピューターやロボットによる仕事の自動化が進み、子供たちの就く職業が大きく変わっていくと予想されている。海外の研究では、これから10年～20年程度で現在の約47%の仕事が自動化され、子供たちの65%は今存在していない職業に就くと言われている。ロボット化は一例であるが、国際化、情報化、科学技術の発展等により、社会は急激に変化していくであろうと中央教育審議会答申でも述べられている。

そのような急激な社会変化へ対応させるために、現行の教育基本法・学校教育法の改正において、「基礎的な知識・技能を活用して問題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力」が学力の重要な要素の一つである、と示された。それは言い換えれば、今後の社会変化に対応できるよう、何か新しい問題に直面した時に生徒が自分で考えて問題を解決していく力、すなわち「問題解決能力」を身に付けさせたい、ということだろう。

では、問題解決能力を育むにはどうすれば良いだろうか。従来高校で行われている実験には、既に学んだ事項を確認する検証実験や、仮説を立てて実験を行う通常の実験などがある。仮説を立て、観察、実験、考察をしていく中で、思考力や新しい問題に取り組む際の解決手順が少しずつ身に付いて行き、問題解決能力が徐々に伸びていくだろう。ただ、変化の激しい現代社会に適応していくためには、時には答のない問題にぶつかり、それに対して解決方法を試行錯誤し、周りと協力して答を模索していく経験も必要なのではないだろうか。

そこで本研究では、問題解決能力を育成する方法のひとつとして、答や解決方法が一つではない実験や教材を授業に組み込みやすい形にして紹介し、授業での実践風景や実践時の時間配分、生徒の変容等について報告する。なお、各実験は既にいくつかの高校や企業の新人研修等で行われているものであるが、授業に取り入れやすいよう、分野ごとに内容をまとめ、類似例や説明用の簡単な理論の補足も付け足してある。また、答のない実験のうち、特に生徒の活動が活発になりやすい、自由な発想で取り組むことのできる実験（本研究では自由発想型実験と呼ぶ）を中心に取り上げた。

2 研究方法

- (1) 自由発想型実験等とその類似例等の提示
- (2) 授業での実践1 ペーパータワー
- (3) 授業での実践2 ストロークレーン
- (4) 授業での実践3 NASA ゲーム
- (5) 生徒の変容

3 研究内容

(1) 自由発想型実験等とその類似例等の提示 ((物理)は発展物理の内容を含むものを示す。)

ア 力学分野

(ア) ペーパータワー (関連事項: 力のつり合い, モーメント (物理))

道具…	A 4判の紙 20 枚 (用意できる枚数に合わせて 10~30 枚程度)
内容…	A 4判の紙 20 枚を使って高い構造物を作り、その高さを競う (図 1)。

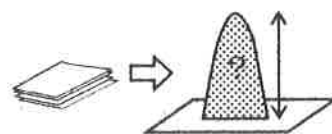


図 1 ペーパータワー

類似例①…道具を追加する。(ハサミ, のり, テープなど)

類似例②…材料を変える (図 2)。

(ストロータワー, パスタタワーなど)

類似例③…条件を変える。

(塔の高さ×頂点に乗ったおもりの質量で競う, 載せるおもりの質量を決めて高さを競うなど)

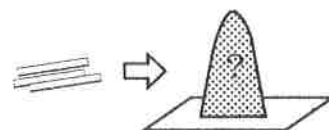


図 2 類似例②

理論補足…物理基礎であれば, 重力と垂直抗力との作用線がずれて力のつり合いが崩れて倒れる, と説明する。つまり, 重心と面の大きさがポイントである。
(発展的な)物理であれば, 支えている面から重心がはみ出すとモーメントのつり合いが崩れて倒れる, と説明する。

生活との関連…スカイツリーなどの巨大タワーの構造, ビルなどの建築物の構造

(イ) ペーパーブリッジ (関連事項: 力のつり合い, モーメント)

道具…	A 4判の紙 20 枚, ハサミ, のり
内容…	A 4判の紙 20 枚とりのりを使って, ある長さ (50 cm など) にかかる頑丈な橋を作り, 橋の中心に載せることのできたおもりの最大の質量で競う (図 3)。

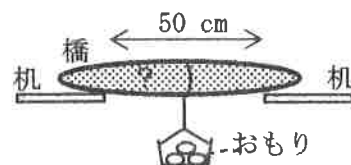


図 3 ペーパーブリッジ

※はじめの段階で, 橋の一部が橋を乗せる机より下に出ているものは失格とする。

類似例…橋げた付きでより頑丈な物を作る (図 4)。
あらかじめ橋の構造について調べさせておいても面白い。



この部分を使っても良い

図 4 類似例

生活との関連…橋の構造や種類

(けた橋, トラス橋, アーチ橋など)

(ウ) ストロークレーン (関連事項：モーメント (物理))

道具… 曲がるストロー50本、セロハンテープ1個、設置用段ボール1枚
クリップ1個(ストローに貫通させ、おもりをかけるために使用する。)

内容… 段ボールのある水平面より上にストローでクレーンを作成し、
①高さ[cm] × ②前に出た距離[cm] × ③耐えた質量[g]の値で競う (図5)。

※①と②は段ボールの端からクリップの最下端までの高さとし距離とする。

※③は、おもりを徐々に増やし、ストローが折れるかクレーンの一部が
段ボール面より下になる直前までの質量とする。

※テープはストロー同士の接続と、段ボールへの固定用
として使用し、ストローを補強するためにテープで
巻くのは反則とする。

例：5 cm × 3 cm × 20 g = 300 点

① ② ③

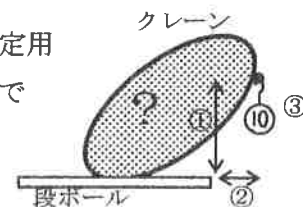


図5 ストロークレーン

類似例①…耐えた質量で競う (図6)。

(例：100 g で 10 点, 500 g で 50 点)

類似例②…質量一定で、高さで競う (図7)。

(例：100 g を吊り下げ、20 cm で 10 点, 40 cm
で 50 点, 50 cm で 100 点)

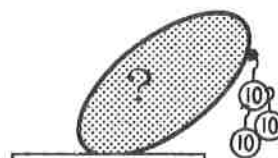


図6 類似例①

理論補足…クレーンを回転させるモーメントは、クレーンと
段ボールとの角度が 90 度に近いほど小さくなり、
質量に耐えやすくなるが、その分前に出た距離が
稼ぎづらくなるので、角度と強度との兼ね合いが
ポイントになる。ストローは引っ張りに強いが、

横方向の力に弱いので、どのように組むかも重要である。



図7 類似例②

生活との関連…クレーンの種類や構造、構造物全般のバランス

(エ) ペーパーダウNHil (関連事項：加速度運動、空気抵抗、摩擦)

道具… A 4 判の紙 20 枚程度、ハサミ、セロハンテープ、のり

内容… A 4 判の紙 1 枚で坂をゆっくり下る物を作り、下る時間の長さを競う。
ある長さ (150 cm など) の坂を下る時間を 2 回測り、長い方の時間を
班の記録とする。坂の途中で 5 秒以上止まると記録なしとする (図8)。

理論補足…坂との接触面積は摩擦とは関係しないため

考えない。空気抵抗は前面の面積によるので、
前面を大きめにしても良い。加速し続けると
速くなってしまいうため、時々止まるような
構造物だと良いだろう。

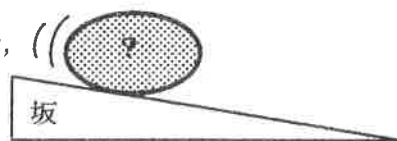


図8 ペーパーダウNHil

(オ) ペーパーフライ (関連事項：加速度運動，空気抵抗)

道具… A4判の紙数枚，ハサミ，のり

内容… A4判の紙1枚とのりを使い，ゆっくり落ちる構造物を作る。ある高さ(2階など)から落とし，落下時間の長さを競う(図9)。

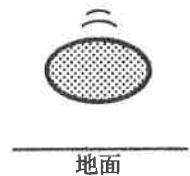


図9 ペーパーフライ

理論補足…空気抵抗は速度方向に垂直な面積に比例するため，この場合は地面に平行な面積をいかに確保するかがポイントとなる。バランスを崩すと面積が減るので，バランスを保つことも重要である。

生活との関連…パラシュート，ムササビ

(カ) 水風船ドロップ (関連事項：空気抵抗，運動量と力積(物理))

道具… 水風船3個，A4判の紙数枚，段ボール数枚，はさみ，のり，セロテープ

内容… 3階から落としても水風船が割れない構造物を作り，3つの水風船を構造物と一緒に落とした時に，割れなかった水風船の水の質量の合計を競う(図10)。



図10 水風船ドロップ

類似例①…水風船を卵に変えたエッグドロップもある(図11)。

卵をビニールで包んでおくと割れても食用に使える。

類似例②…落ちてきたものをキャッチできる構造物を作る，

水風船キャッチやエッグキャッチにしても面白い。

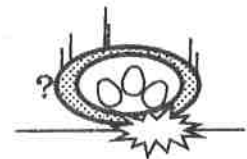


図11 エッグドロップ

理論補足…速度を落とすことと力を減らすことがポイントとなる。速度を落とすには地面に平行な面積を稼いで空気抵抗を大きくする，空気を捉えて安定するよう，パラシュートのような構造にするなど工夫すると良いだろう。力を減らすには，クッション性のある構造にすると良い。

生活との関連…パラシュート，衝撃吸収装置

(キ) 落下予測 (関連事項：等加速度運動，エネルギー，空気抵抗，水平投射(物理))

道具… 糸，おもり，スタンド，カミソリ，

小さい入れ物(紙コップ，紙皿など)，定規，電卓

内容… スタンドに付けた糸におもりを付けて振り子を作り，最下点で糸が切れて水平に飛ぶようにセットする。始めの高さから落下位置を計算で予測し，入れ物を置いてキャッチする。入れ物を置けるのは3回までとし，少ない回数でキャッチし，小さい器だと高得点とする(図12)。

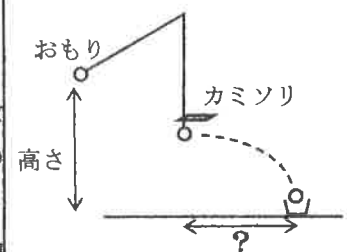


図12 落下予測

補足… 班ごとに異なる高さを指定しておくとかんニングできないので良い。

理論補足…エネルギーから飛び出し時の速さを求め，水平投射の問題として考える。

水平方向は等速運動，鉛直方向は落下運動であり，空気抵抗も多少関係する。

類似例… レールでボールを転がし水平投射をする。ボールの回転エネルギーの考慮が必要となる。

イ 熱力学

(ア) 比熱測定 (関連事項: 比熱, 熱量保存)

道具… 発泡スチロールコップ, 温度計, 金属のおもり, 秤, ガスバーナー, マッチ, その他使えそうなもの (ビニール袋, 金属蓋, カップラーメンの容器など)

内容… 未知の金属の比熱を測る方法を考え, 計測する。

実験で求めた比熱の値が, 本当の値に近い班からポイントを与える。

(イ) 熱気球でおもり浮上 (関連事項: 浮力, 状態方程式 (物理))

道具… ポリ袋 (70 L), セロハンテープ, エナメル線 4 本, アルミホイルカップ 2 個, 糸 (制御用) 2 本, 脱脂綿, エタノール, 測り, むれ雑巾 (火災防止用), おもりとなるもの (1 円玉, パチンコ玉など)

内容… 熱気球を作成し, その質量と気温から最大積載量を計算で予測して, おもりを 10 秒以上持ち上げる (図 13)。

補足… 2 回の試行で持ち上げることのできた最大の質量と, 予想からのずれの小ささに得点を与えて競う。

注意… 火災に注意する。

- ・アルミカップがポリ袋の中心に来るようにポリ袋を広げ, カップ内の脱脂綿に含ませたエタノールに火をつける。
- ・気球が落ちてきたらぬれ雑巾でキャッチして消火させる。

理論補足… 最大積載量については以下のように考える。

気圧を 1013hPa, ゴミ袋の体積を 70 L, 空気の平均

分子量 $M = 2.88 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$, $R = 8.31 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa/K/mol}$,

気球の体積を気温約 27 °C の外部空気が占める時の質量を w とすると,

$$PV = nRT = \frac{w}{M} RT \text{ より, } w \approx 0.80 \text{ N} \rightarrow \text{浮力 } 0.80 \text{ N}$$

気球内部が平均 90°C と仮定した時の気球内部の質量を w' とすると

$$PV = nRT = \frac{w'}{M} RT \text{ より, } w' \approx \text{内部気体の重さ } 0.66 \text{ N}$$

$0.80 - 0.66 = 0.14$ より, 気球の袋や糸など合計の重さが 0.12 N なら, おもりはあと 0.02 N (約 2 g) 分載る。ただし, 内部気温は仮定に過ぎないので, 予備実験で目安を出しておく必要がある。

また, 浮き上がるかどうか火の強さに大きく左右されるため, 脱脂綿の大きさや表面積, エタノールの量, アルミカップからポリ袋までの距離を統一しておかないと, 予測とのずれが大きくなりやすい。

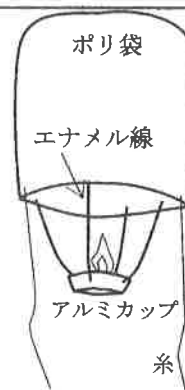


図 13 熱気球

類似例… おもりの質量を一定にし, なるべく体積の小さい気球を作る。

生活との関連… 気球, 風船, 上昇気流

ウ 電磁気学 分野

電磁石の性能比べ (電流が作る磁界、透磁率(物理)、磁束密度(物理))

道具… エナメル線 (太いもの、細いもの)、クリップ、乾電池、釘 (太、細)

内容… クリップをできるだけ沢山電磁石に付け、付いたクリップの数を競う。

時間内に電磁石に改良を加え、適宜計測を行いながら、より良いものを作る。

理論補足…磁界の強さは電流×巻き数で決まるため、巻き数を増やす。抵抗が小さいと電流が増えるため、エナメル線は太いものを使う。鉄は透磁率が高く、磁束密度が増えるため、コイルに釘を入れる。

生活との関連…スクラップ工場、電化製品、電気自動車、自転車のライト、発電所

エ その他の分野

NASA ゲーム (物理全般)

道具… プリント (図 14, 15)

内容… 宇宙で遭難した時、仲間と共に生還するにはどの道具が必要か。

15 品を重要度順に順位を付ける。

補足… まず一人で考え、次に班員で話し合いながら必要物品の順位付けを行う。

回答時間終了後、NASA が付けた順位との差を図 14 の右列に書き、差の合計を出す。差の合計が小さい程生存確率が高くなり、得点が高いというゲームである。意見を一致させて難問を解くため、コンセンサスゲームともいう。

利点… 一人で考えるより、班員と考えた方が得点が向上しやすいため、周りとの協力することの重要性に気付かせることができる。

もし月で遭難したら？

あなたは宇宙飛行士の一人です。宇宙船で仲間と共に作業をしていた所、機内に重大なトラブルが発生したため、あなた達の乗った宇宙船はやむを得ず月面上に緊急着陸しました。しかし、着陸時の衝撃で宇宙船や船の設備はほとんど壊れてしまい、使えるような機材は 15 品しか残っていません。あなたと船員の生死は約 300km 離れた母船にたどり着けるかどうかにかかっています。

あなたの任務は、船員全員を母船に帰還させるために必要な機材を、必要度に応じて順位付けすることです。必要なものから順に 1 位から 15 位まで順位を付けなさい。

品名	あなたの 回答	みんなの 回答	NASA の 回答	あなたと NASA の差 (1~100の値)	みんなと NASA の差 (1~100の値)
1. マッチ箱					
2. 宇宙食					
3. ナイロン製のロープ 20m					
4. パラシュート					
5. ソーラー発電の携帯ヒーター					
6. 45口径のピストル 2丁					
7. 粉ミルク 1ケース					
8. 酸素ボンベ 2本					
9. 月面星座表					
10. 自動的にふくらむ救命ボート					
11. 磁気コンパス					
12. 水 20ℓ					
13. 照明灯					
14. 注射器入り救急箱					
15. ソーラー発電 FM 受信機					
			差の 合計		

⇒得点 点 点

図 14 NASA ゲーム 問題プリント

もし月で遭難したら？ 答

品名	あなたの 回答	みんなの 回答	NASA の 回答	あなたと NASA の差 (1~100の値)	みんなと NASA の差 (1~100の値)
1. マッチ箱			15		
2. 宇宙食			4		
3. ナイロン製のロープ 20m			5		
4. パラシュート			8		
5. ソーラー発電の携帯ヒーター			13		
6. 45口径のピストル 2丁			11		
7. 粉ミルク 1ケース			12		
8. 酸素ボンベ 2本			1		
9. 月面星座表			3		
10. 自動的にふくらむ救命ボート			9		
11. 磁気コンパス			14		
12. 水 20ℓ			2		
13. 照明灯			10		
14. 注射器入り救急箱			7		
15. ソーラー発電 FM 受信機			5		
			差の合計		

【差の合計】 【得点】

0 ~ 25 ⇒ 5 点！ 最優秀。おめでとう！全員無事です。
 26 ~ 32 ⇒ 4 点！ 優秀。 多少のトラブルを乗り越えれば全員無事です。
 33 ~ 45 ⇒ 3 点！ 良。 困難はありますが、力を合わせればきっと。
 46 ~ 55 ⇒ 2 点！ 可。 数人の命が危険にさらされるかも。
 56 ~ 70 ⇒ 1 点！ 不可。 苦戦を覚悟しましょう。
 71 ~ ⇒ 0 点！ × 悪い人生でした。

【理由】

- マッチ箱 … 月には酸素がないから、何の役にも立たない。
- 宇宙食 … エネルギー補給に有効な手段。
- ナイロン製のロープ … 崖の高さを測る、けが人を運ぶために役立つ。
- パラシュート … 太陽光を遮断するのに役立つ。
- 携帯ヒーター … 宇宙服は外から暖房しても効果がない。
- 45口径ピストル … 燃料の反動で少し推進できるかもしれない。
- 粉ミルク … 宇宙食よりかさばる。飛び散る。
- 酸素ボンベ … 生存に一番必要なもの。
- 月面星座表 … 現在地を確かめるのに欠かせない。
- 自動的にふくらむ救命ボート … 酸素ガスボンベが推進力として使えるかもしれない。
- 磁気コンパス … 月面は磁気がないので役に立たない。
- 20リットルの水 … 酸素に次いで、生存に必要なもの。
- 照明灯 … 母船が見えたとき、遠隔信号を送れる。
- 注射器入り救急箱 … 宇宙服の特殊孔からピタミドや薬を注入できる。
- FM 受信機 … FM は近距離しか使えないが、母船に近づけば役立つ。

図 15 NASA ゲーム 答プリント

(2) 授業での実践1 ペーパータワー

チームで紙のタワー(高い構造物)を作り、高さ[cm]で勝負!

1位30点、2位20点、3位10点

条件

- ・道具はA4紙20枚だけ
(ハサミ、テープ、のりはだめ)
(手で折る、切るのはok)
- ・作戦3分→5分→制作9分
(1人で) (班で)
- ・手を離し10秒保てないと失格

図16 説明スライド



図17 作成時の授業風景

年 組 番 氏名 _____

ペーパータワー 紙20枚を使って、できるだけ高い構造物を作ってもらいます。

■Plan (計画)

◇一人で考えよう (3分間)

- ・イラスト案

なぜその形が良いと思う? _____ だから。

◇班員と考えよう (5分間)

- ・メンバーの名前 _____
- ・イラスト案 _____

なぜその形が良いと思う? _____ だから。

■Do (実行) 9分間 先生の合図でスタート、ストップ、終了後は触ってはいけない。

■Check (検証) 3分間

- ・結果… 高さ _____ cm 全体で _____ 番

■Action (改善) 2分間

- ・記録を伸ばすには、どこをどう改善したら良い? _____
- ・それはなぜ? _____

図18 配付プリント

実施対象… 物理基礎選択者 約20名×3クラス

プリント… 図18を両面刷りにし、片側に2回目と書いて配付した。

時間配分… 1回目: 説明3分(図16), 作戦8分, 作成9分, 計測・考察5分

2回目: 作戦5分, 作成9分, 計測・考察5分, 片付け等数分

で行った。2回目の作戦タイムでは、一人で考える時間を省略した。

生徒の様子… どの班も知恵を絞り合い、楽しみながらタワーを作成していた(図17)。

結果… 図17右上が3年生の1位187cmで(表1)、三角柱を重ねたタイプであり、2位も同タイプであった。図17左上が2年生の1位176cmで、2本の円柱をつなげるタイプだったが不安定だった。バランスのとりやすい三角柱を使うと安定しやすいようである。

表1 ペーパータワーの実験結果

	2年1・2組		2年5・6組		3年4組	
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
1班	12 cm	85 cm	89 cm	176 cm	118 cm	0 cm
2班	14 cm	33 cm	147 cm	0 cm	118 cm	187 cm
3班	53 cm	41 cm	3 cm	119 cm	105 cm	62 cm
4班	89 cm	128 cm	63 cm	85 cm	10 cm	154 cm
5班	89 cm	89 cm	128 cm	128 cm	11 cm	123 cm
6班					30 cm	181 cm

(3) 授業での実践2 ストロークレーン

段ボールの上に ストロークレーンを作り、
 高さ[cm] × 前に出た距離[cm] × 耐えた質量[g]
 10cm × 5cm × 20g = 1000 点
 の点数で勝負！

図 19 説明スライド



図 20 作成時の授業風景



図 21 作成したクレーン(左から 1 班, 2 班…)

物理 モーメントの応用 月 日 年 組 番 氏名

共同実験者

【実験競技】最強クレーン王決定戦！！

1. 内容 段ボール上にストローでクレーンを作り、
 ①クレーンの高さ[cm]×②前に出た距離[cm]×③吊り下げたおもりの質量[g] の値で勝負！

例: 5cm × 8cm × 20g = 800 点
 ① ② ③

2. 材料 曲がるストロー50本、セロハンテープ1個(少量使用)、設置用段ボール1枚、おもり吊り下げ用クリップ1個(ストローに貫通させて固定する)

3. 注意 ①は段ボールのある水平面から、おもりを下げるクリップ最上部までの高さ。
 ②は段ボールの奥の端から、おもりを下げるクリップ先端までの水平距離。
 ③では、おもりを軽いものから下げていき、耐えることのできた最大の重さで勝負。
 おもりを下げる時、クレーンに触れて支えないこと。
 ストローが折れるか、クレーンが垂れ下がって段ボールのある水平面より下になったら OUT。續ける直前に成功した重さが記録となる。

授業残り 10 分まで作成。一残り 10 分で測定 としたい。

4. 作成
 完成イメージ(メモ欄)

5. 今回作成したクレーンのアピールポイント

6. 結果
 ①高さ _____ cm × ②出っ張り距離 _____ cm × ③耐えたおもりの重さ _____ g = _____ 点
 全 _____ 班中 _____ 位

7. 実験をして気付いたこと、分かったこと。

図 22 配付プリント

実施対象… 物理選択者 約 20 名

時間配分… 5 分説明 (図 19, 図 22), 作成 35 分, 計測・片付け 10 分で行った。

生徒の様子… 答のない問題に試行錯誤することを楽しむ生徒が殆どだった (図 20)。

実験結果… 補強する部分を付け、高さや質量で好記録を出した 4 班が優勝した。(表 2)
 高さ、前に出た距離、質量のどれも平均的なものを目指すのか、どれかを突出させるのかと、どの班も作戦を練ってクレーンを作成していた (図 21)。

表 2 ストロークレーンの実験結果

	高さ[cm]	前に出た距離[cm]	おもりの重さ[g]	得点	順位
1班	23.0	164.0	0	0	6
2班	43.0	13.0	150	83850	4
3班	42.0	15.0	150	94500	3
4班	42.0	5.0	500	105000	1
5班	51.0	8.0	10	4080	5
6班	35.0	23.0	130	104650	2

生徒の反応… 年度末のアンケートで、年度当初の 5 月に行ったこの実験が面白く、印象に残った、また行いたいとの回答が何件もあった。

改善点… ・時間について

1 回の授業でもできなくはないが、作成時間が若干短い印象。説明や計測を別の時間にするか、質量だけで競うなど条件をシンプルに変えると良いか。

・説明時の例について

完成したクレーンの形を例示したが、どの班も似たような形になってしまったため、例示する形はばやかして発想を阻害しない方が良い。

(4) 授業での実践3 NASA ゲーム



図 23 授業風景

年 組 番 氏名					
■メンバーの名前					
■自己評価	良い(できた)		悪い(できなかった)		
・案や意見を出すことができたか	5	4	3	2	1
・班員の意見を聞けたか	5	4	3	2	1
・協力することができたか	5	4	3	2	1
■班員を評価					
・意見は活発に出ていたか	5	4	3	2	1
・参考になった意見 (誰のどんな意見か)					
・このミッションについて、リーダーとしての誰なのは誰か？その理由は？					
・自分の意見と、話し合った結果とを比べると、どちらの方が妥当だと考えるか？					
■感想					

図 24 振り返りプリント

実施対象… 物理基礎選択者 約 20 名×3 クラス

時間配分… 一人で 8 分，その後班で 20 分程考え，答合わせと集計 10 分，振り返り 12 分程度で行った。

プリント… 問題プリント(p6 の図 14)の裏に振り返りプリント(図 24)を印刷して，問題面だけが見えるように配り，答え合わせ(p6 の図 15)・点数計算の後に振り返りを行わせた。

生徒の様子…今まであまり周りとコミュニケーションを取れていなかった生徒も議論に参加しており，授業を楽しんでいるようだった(図 23)。

結果… 表 3 の数字は，必要度順に順位付けした物品の順位と NASA の回答との差の合計を表し，数字が小さい程良い回答である。班で話し合った時の方が差の合計の平均が下がり，結果が改善している。

授業時にはここまで集計する余裕がないため，班での話し合いで結果が改善した者に挙手をさせた所，クラスのほとんどの手が上がった。そこで，「仕事でも周りと協力すると結果が向上しやすい。」とチームワークの重要性を説くと，多くの生徒が納得していた。

表 3 差の合計とその平均 (A～S さん，生徒 19 名分)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	平均	標準偏差
自分で考	50	44	38	49	62	42	58	74	44	46	46	44	43	40	54	74	27	64	54	50.2	11.7
班で話し	34	34	36	36	36	50	50	50	50	36	36	36	36	54	54	54	36	36	36	41.6	7.9

(5) 生徒の変容

授業時に生徒が記入したプリントを下に示した。ペーパータワーでは、一人で考えた場合、班員と考えた場合、2回目に班員と考えた場合とでアイディアが変化していき、記録も伸びて徐々に問題へ対応していることが分かる(図25)。また、NASAゲームでは班員と考えることで記録が向上し、生徒の感想から協力することの重要性に気付いたことが分かる(図26)。

3年 4組

ペーパータワー 1回目

紙3枚を使って、できるだけ高い紙造物を作ってください。

Plan (計画) 5分間

○一人で考えよう

イラスト

なぜその形が良いと思う？
折る方が簡単だと思う

Do (実行) 5分間

先生の合図でスタート、ストップ。終わったら黙ってはいけません。

Check (検査) 5分間

結果… 高さ 11 cm 全体で 4 冊

Action (改善) 3分間

記録を伸ばすには、どこまで改善したらいい？
紙が折れやすくなるようにしたい

それはなぜ？ 紙が折れやすくなるようにしたい

3年 4組

ペーパータワー 2回目

Plan (計画) 5分間

○班員と考えよう

イラスト

なぜその形が良いと思う？
安定して高さがあると思う

Do (実行) 5分間

先生の合図でスタート、ストップ。終わったら黙ってはいけません。

Check (検査) 5分間

結果… 高さ 13 cm 全体で 4 冊

Action (改善) 3分間

記録を伸ばすには、どこまで改善したらいい？
上にも増やせば上にのぼると思う

それはなぜ？ 上にも増やせば上にのぼると思う

図25 ペーパータワーの生徒記入プリント

もし月で遭難したら？

あなたは宇宙飛行士の一人です。宇宙船で仲間と共に作務をしていた際、機内に重大なトラブルが発生したため、あなた達の乗った宇宙船はやむを得ず月面上に緊急着陸しました。しかし、着陸時の衝撃で宇宙船や船の設備はほとんど壊れてしまい、使えるような燃料は15品しか残っていません。あなたと船員の生死は約300km離れた母船にたどり着けるかどうかにかかっています。

あなたの任務は、船員全員を母船に帰還させるために必要な燃料を、必要に応じて順次付けすることです。必要なものから順に1位から15位まで順位を付けなさい。

品名	あなたの 順位	みんなの 順位	NASAの 順位	あなたと NASAの 順位差	みんなと NASAの 順位差
1. マッチ箱	10	15	15	5	0
2. 平食	5	5	4	1	1
3. ナイロン製のロープ 20m	13	10	6	7	4
4. バッテリー	15	14	8	7	6
5. ソーラー電池の携帯ヒーター	9	11	13	4	2
6. 60口瓶のビストル3丁	14	9	11	3	2
7. 折りたたみケース	12	6	12	0	6
8. 酸素ボンベ2本	1	1	1	0	0
9. 月面探査機	8	4	3	4	1
10. 自動的にくらむ救命ボート	11	13	9	2	4
11. 携帯コンパス	6	12	14	8	2
12. 水 20L	2	2	2	0	0
13. 照明機	3	7	10	7	3
14. 燃料補給機	7	8	7	1	1
15. ソーラー電池 7W 充電機	4	3	5	1	2
合計				50	24

→得点 2点 3点

3年 4組

メンバーの名前

自分自身

	良いできた	悪いできなかった
・意見を出すことができたか	5	3
・意見の意見を聞いたか	5	3
・協力することができたか	5	4

意見を出したか

意見は積極的に出していたか 5 4 3 2 1

参考になった意見 (誰のどんな意見か)

自分の マッチ (燃やさない) という意見

自分の 水 (水が沸かなくて作れない) という意見

自分の

このミッションについて、リーダーとして的確なのは誰か？その理由は？

自分の 理由… 自分の意見が的確にわかってすぐ取ってこれた

自分の意見と、話し合った結果とを比べると、どちらの方が適切だと考えるか？

話し合った結果

感想

自分一人で考えるより、みんなとで考えたら意見もいろいろあり、NASAの意見に近づけることができた。船のボートが考えられ、みんなとで考えたらいい意見がいっぱいあった。

図26 NASAゲームの生徒記入プリント

他の生徒たちの変容については、約2クラス分の32名にアンケートを取って調査した。
(そのうち15名は実験後1年経ってからのアンケートである。いずれも単位は%)

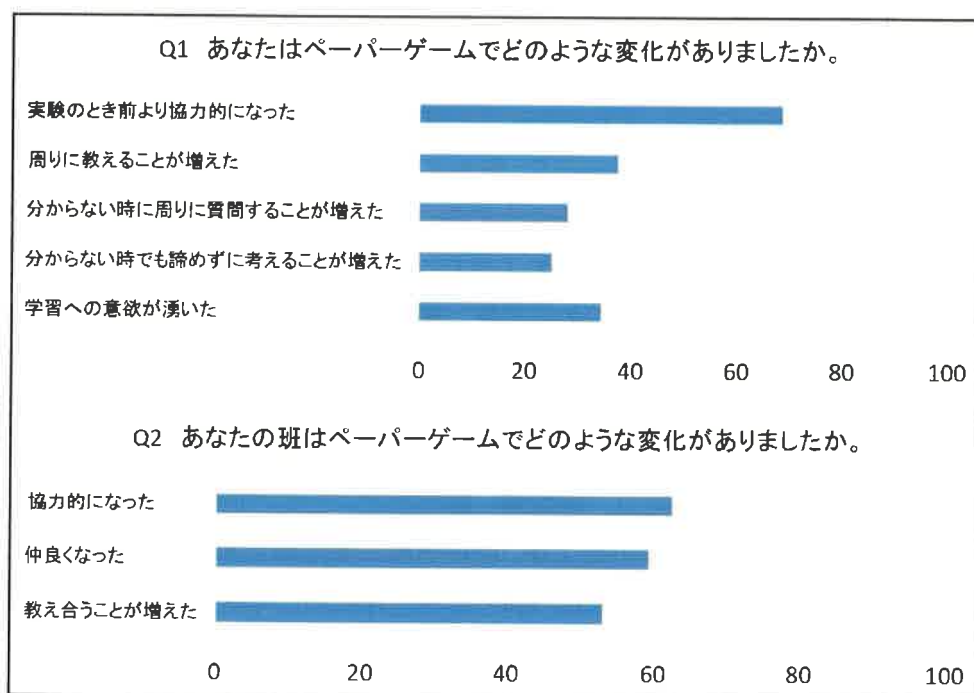


図 27 ペーパータワーについての事後アンケート

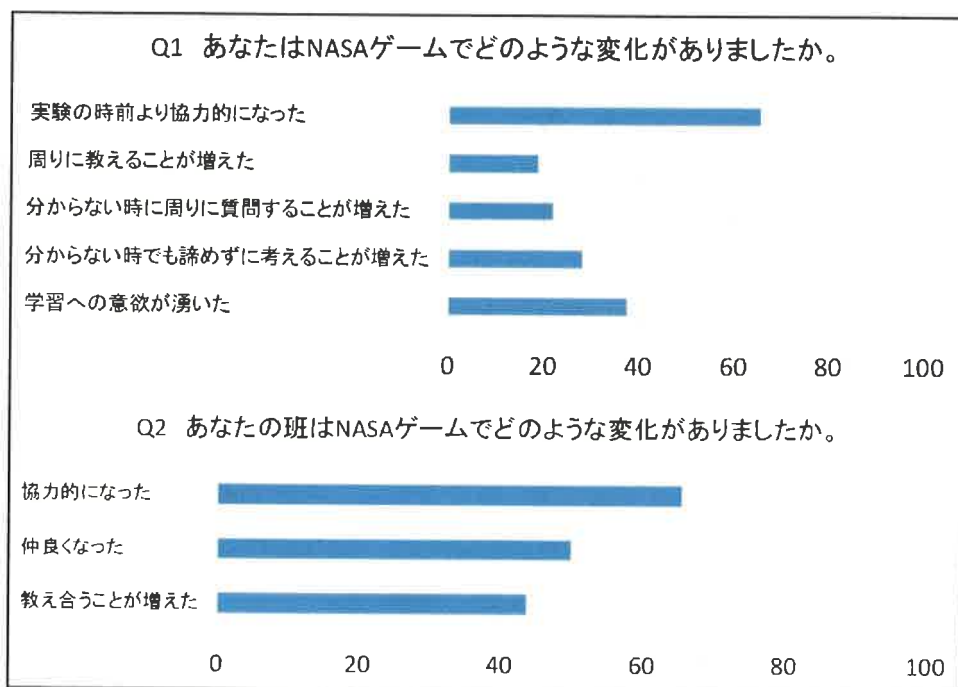


図 28 NASA ゲームについての事後アンケート

2つのアンケート結果(図27, 図28)より, これらの授業を通して

3割程度: ・諦めない姿勢の育成

4割程度: ・学習意欲の喚起

6割程度: ・コミュニケーション能力の向上 ・協力的な姿勢の育成

ができたと分かる。未知の問題に対してすぐに諦めず, 様々な知識を駆使して周りと協力することができれば問題の解決に近づいて行くだらう。よって, アンケート結果より, 自由発想型の教材で問題解決能力の育成ができたと言えるのではないだろうか。

4 おわりに

自由発想型の教材を授業に取り入れたことによる一番の発見は、生徒の授業に対する姿勢が変化するということだ。面白かったとアンケートに書いた生徒がペーパータワーで 69%、NASA ゲームでは 81%もいた。それが学習意欲の向上につながったのは 4 割程度、実験で協力的になったのが 6 割程度ではあるが、それでも大きな変化だと私は思う。それまで全く授業に関心のなかった生徒が参加するようになったり、周りとうまくコミュニケーションを取れなかった生徒も分からない時には周りに相談するようになったり、実験時には班員と打ち解けていたりする姿を見ると、これらの実験を取り入れて良かったと心から思う。

これらの実験を機に、授業に興味のある生徒、実験で周りとは協力する生徒が少しでも増えれば、それだけで教室全体の授業の雰囲気が変わり、学習効果は上がるはずだ。今回実践した実験はどれも 1 時間で収まるようにしてあるため、ぜひ多くの先生方に試して頂き、生徒たちの学習効果の向上、及び問題解決能力の育成に繋がればと切に願う。

最後に、本研究を進めるに当たり、御指導・御助言をいただいた教育庁教育振興部指導課の佐藤晴光主席指導主事、中村孝幸指導主事、前指導課主席指導主事の豊城勲先生、教科指導員の菅原大介先生、林広幸先生、前教科指導員の秋本行治先生、ならびに教科研究員の諸先生方に心よりお礼申し上げます。

参考文献、情報源

- ・ペーパータワー 特定非営利活動法人 日本ファシリテーション協会
https://www.faj.or.jp/modules/contents/index.php?content_id=27
- ・ペーパーブリッジ NEXCO 中日本 橋コンテスト
<http://www.c-nexco.co.jp/special/bridge-contest/>
- ・ストロークレーン 市川高校 堀先生(おもしろ物理教材研究班にて)
- ・ペーパーダウンヒル NHK E テレ すいえんサー
<http://www.nhk.or.jp/suiensaa-blog/2014/04/29/>
- ・ペーパーフライ NHK E テレ すいえんサー
<http://www.nhk.or.jp/suiensaa-blog/n001/143239.html>
- ・水風船ドロップ 県立四街道高校 内本先生(おもしろ物理教材研究班にて)
- ・エッグドロップ ものづくりキッズ エッグドロップ甲子園
<http://monodzukurikidsfund.org/eggdropkoshien/>
- ・熱気球 「いきいき物理わくわく実験 1」
- ・NASA ゲーム https://www.nasa.gov/audience/foreducators/topnav/materials/listbytype/Survival_Lesson.html#.VjBaIjahfb0
- ・その他参考にしたもの
「The Future of Employment」 Carl B. Frey and Micheal A. Osborne, 2013 年
「いきいき物理わくわく実験 1～3」 愛知・岐阜物理サークル, 日本評論社, 2004 年
「川勝先生の物理授業 上・中・下」 川勝博, 海鳴社, 2005 年
「たのしくわかる物理 100 時間 上・下」 東京物理サークル, 日本評論社, 2009 年
「理科実験大辞典 物理」 三輪光雄, 全教図, 1982 年