

# エルニーニョ現象を題材とした学習

—探究的な視点を取り入れた学習プログラムの開発—

木下 温

高等学校理科，地学基礎の「地球の環境」の学習において，エルニーニョ現象を題材とした学習プログラムを開発・検討したので報告する。本学習プログラムは，デジタル地球儀 (Dagik Earth)，水槽モデル実験，観測データを総合的に活用して展開される。

[キーワード] エルニーニョ現象 デジタル地球儀 (Dagik Earth) 水槽モデル実験 観測データ

## 1 はじめに

学習指導要領の改訂に伴い，高等学校理科の地学基礎では「変動する地球」の中に「地球の環境」が新設された。ここでは，地球環境の科学についてエルニーニョ現象などの現象をデータに基づいて人間生活と関連させて扱い，地球の自然環境の変化とその仕組みを科学的に考察させることがねらいとなっている。また，「変動する地球に関する探究活動」では，「地球の環境」の学習活動と関連させながら，観察，実験などを通して，情報の収集，仮説の設定，観察や実験の計画，データの分析・解釈，推論など地学的に探究する方法を習得させ，具体的な解決の場面でこれらの方法を用いることができるよう扱うこと\*<sup>1</sup>が求められている。本学習プログラムは，エルニーニョのような地球規模の現象を題材に対して，探究の方法を用いて解決する場面を設定し，実感を伴った理解を深めることを目的とし，開発を行った。

## 2 エルニーニョ現象とラニーニャ現象

エルニーニョ (ラニーニャ) 現象は数年おきに貿易風が弱 (強) まり，赤道太平洋西部の表層暖水が東太平洋に張り出す (出さない) ことで起こる赤道太平洋東部の大規模な海面水温の高 (低) い状態が続くことをいう (図1) \*<sup>2</sup>。また，エルニーニョ (ラニーニャ) 現象は南方振動現象と表裏の関係にあることから，両者を合わせて ENSO (El Niño and Southern Oscillation) 現象ともいう。

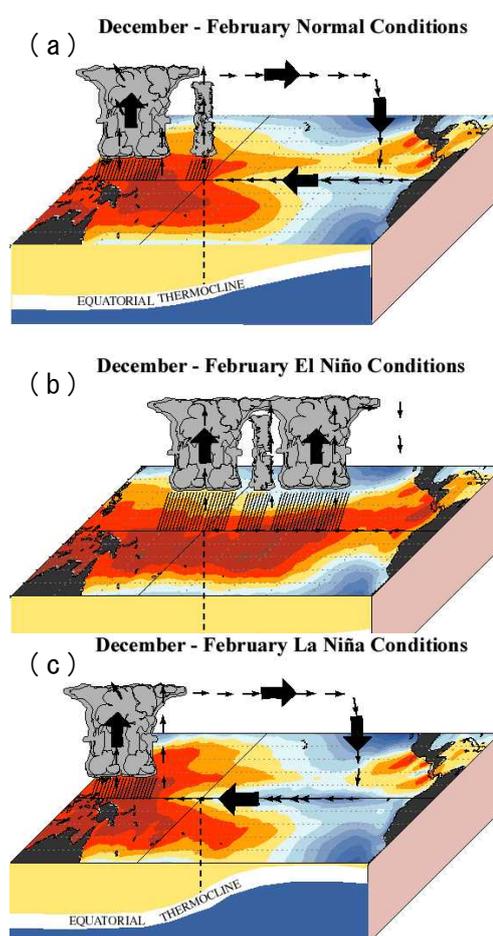


図1 赤道太平洋の大気・海洋の模式図\*<sup>3</sup>  
(a)エルニーニョでもラニーニャでもない通常の状態，(b)エルニーニョの状態，(c)ラニーニャの状態。なお，図中の赤色は暖水域，寒色は冷水域，断面の黄色域は表層水，青色域は深層水を，また，矢印は大気の鉛直循環をそれぞれ示す。

### 3 Dagik Earthによるエルニーニョ現象の観察

Dagik Earth (ダジック・アース) とは、デジタル立体地球儀を授業等に活用するプロジェクトである。※4 このデジタル立体地球儀は、半球スクリーンにプロジェクターで地球や惑星のさまざまなデータを投影することで手軽に地球や惑星の諸現象を立体的に観察できる(図2)。



図2 Dagik Earth

Dagik Earthのコンテンツ「1980年から2007年までの12月の海面温度」を用いて赤道太平洋の海面温度の年変化を動画で観察できる。観察で注視するのはペルー沖の水温である。ペルー沖の水温が高くなる年と、低くなる年が、エルニーニョ、ラニーニャの発生にそれぞれ対応していることが手に取るように分かる。(図3)。

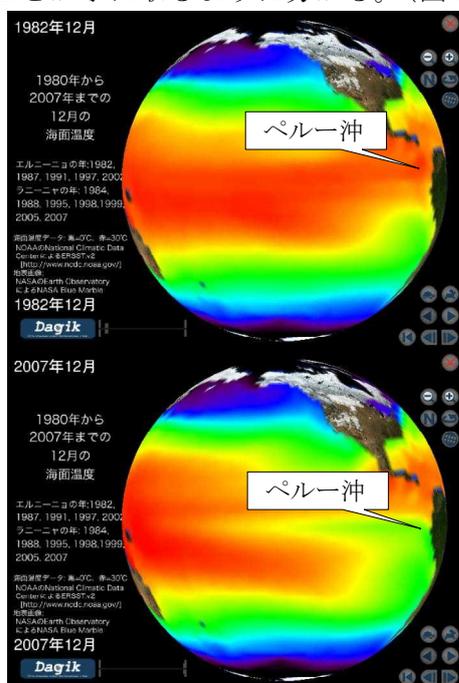


図3 エルニーニョが発生した1982年12月とラニーニャが発生した2007年の12月のそれぞれの海面温度分布※4

### 4 エルニーニョ現象の水槽モデル実験と観察

エルニーニョ現象は大気-海洋の相互作用であり、現象のメカニズムのすべてをモデル化することは不可能である。ここでは木村他(2003)※5 にならって、大気から海洋への応答を調べるための水槽モデル実験を行う。赤道太平洋では表層の低密度の暖水が深層の高密度の冷水の上に重なった2層構造をしていると見なしてよい。この実験における設定・条件とモデル化したものとの対応については、下の表1に示す。

表1

設定・条件	モデル化したもの
赤道太平洋地域	ふたをした透明水槽
表層の暖水 (低密度)	真水 (赤色に着色)
深層の冷水 (高密度)	牛乳 (青色に着色)
貿易風 (東風)	西からの空気の吸引
貿易風 (東風) の弱まり	空気の吸引の停止

実験・観察は次の①～⑦の手順で行う。

- ①透明な水槽に真水を先に入れてマープリンクで赤色に着色する。次に牛乳を水で適度に薄めてマープリンクで青色に着色する。
- ②ロートを使って真水の層の下に水で薄めた牛乳をゆっくりと注入し、低密度の真水の層が高密度の牛乳の層に重なった2層構造をつくる。牛乳の層の密度は水の薄め方で調整する。
- ③透明な水槽の上部をサララップ等でふたをする。ふたの両端は隙間を空け、クリーナーで吸引する際、気流が通るようにする。気流の強さは隙間の空け方で調整する。
- ④西側に設置したクリーナーで空気を吸引し、東風(東から西への気流)を発生させる(図4)。
- ⑤東風の発生を続け、東風に引きずられた表層の暖水が西側に集まった暖水塊の形成を観察する。また、東側で深層から冷水が湧昇し始める様子も観察する(図5)。
- ⑥西側に暖水塊が十分形成され東側に冷水が湧昇したらクリーナーの吸引をやめて、暖水塊が東に戻り始める様子を観察する(図6)。
- ⑦エルニーニョ現象が発生した状態に対応する、東部に暖水塊が到達した様子を観察する(図7)。

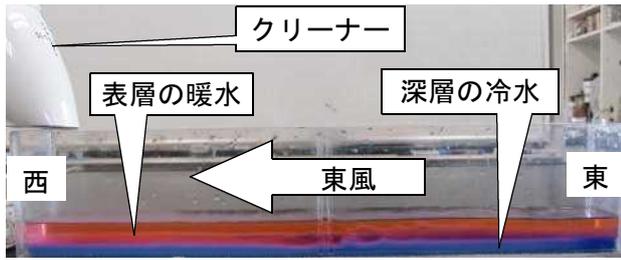


図4 赤道太平洋のモデル化

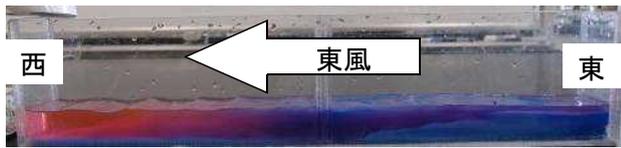


図5 西側の暖水塊の形成と東側の冷水湧昇

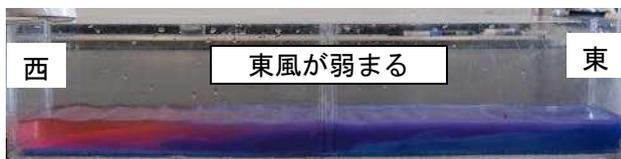


図6 東に戻り始める西側の暖水塊

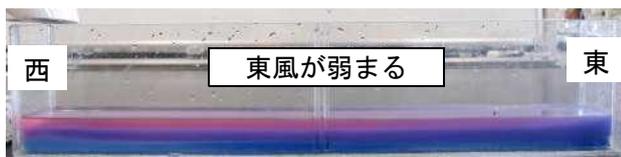


図7 東部に到達した西側の暖水塊

このような水槽モデル実験と観察を通して、大気（風）と海（水）のシーソーであるエルニーニョ現象（図8）のメカニズムについて理解の深まりが期待できる。

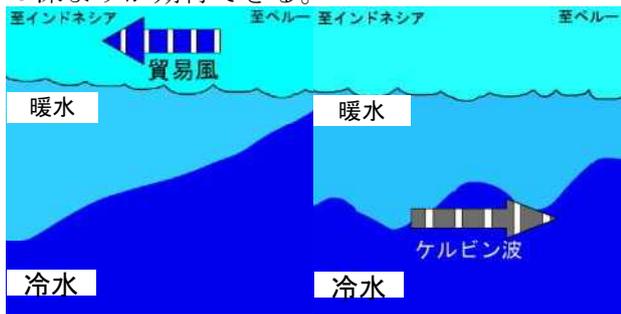


図8 エルニーニョ現象の模式図※6

### 5 エルニーニョ現象に関わる観測データ解析

エルニーニョ現象は自然環境の変動性の一例であり、世界各地で起きている異常気象との関連が指摘されている。冷夏や暖冬、台風への影響など人間生活との関わりも深い。Dagik Earthを用いてエルニーニョに関わる地球規模の変

動を視覚的に観察し、水槽モデル実験と観察で現象のメカニズムに触れた後、水槽モデル実験では表現できなかった現象の特徴を捉えるため、観測データを用いてデータ解析を行う必要がある。解析の際は、下の表2の観測データ等を利用する。

表2

観測データ1	NINO.3データ（気象庁）
観測データ2	SOIindex（気象庁）
観測データ3	過去の気象データ（気象庁）

データ解析は次の①～⑦の手順で行う。※7

- ① NINO.3データ（図9）の月平均水温を月別に30年分平均して、1月～12月それぞれについて基準値を求める。なお、30年とは、その年の30年前から前年までの30年間である。
- ② 月平均海面水温偏差＝月平均水温－基準値を計算する。
- ③ 月平均海面水温偏差から5ヶ月移動平均を求める。
- ④ ③の結果を表計算ソフトを用いてプロットする。
- ⑤ 気象庁のエルニーニョ（ラニーニャ）現象と定義する期間と偏差の大きさを見る（図10）。（気象庁ではエルニーニョ・ラニーニャ現象を月平均海面水温偏差5ヶ月移動平均値が6ヶ月以上継続して±0.5℃以上・以下になると定義している。）
- ⑥ ⑤の結果とSOIindexとの対応を調べる。
- ⑦ ⑤、⑥の結果と日本や世界の過去の気象データとの対応を調べる。

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1949	25	26.3	26.8	27.6	27.3	25.2	24.8	24.4	23.7	23.8	23.5	23.6
1990	25.4	26.4	27	27.6	27.4	26.6	25.9	25.2	25	24.9	24.8	25.1
1991	25.7	26.3	27.1	27.5	27.7	27.3	26.7	25.7	25.2	25.7	26.1	26.5
1992	27	27.7	28.1	28.6	28.4	26.9	25.7	24.9	24.8	24.7	24.8	25.1
1993	25.5	26.7	27.5	28.3	28.2	27.2	25.9	25.1	25	25.3	25.3	25.4
1994	25.8	26.2	26.9	27.1	27	26.5	25.3	24.9	24.9	25.6	25.9	26.1
1995	26.3	26.9	27	27	26.3	26.1	25.5	24.5	24.1	24.1	24.1	24.2
1996	25.1	25.8	26.8	26.8	26.4	25.9	25.4	24.7	24.5	24.4	24.5	24.2
1997	24.8	25.8	27	27.5	28	28.1	28	27.8	27.8	28.1	28.5	28.6
1990	20.8	20.9	29.1	29	20.0	26.1	25.0	24.7	24.2	24	24.1	23.9
1999	24.2	25.5	26.7	26.7	26.5	25.7	25	24.1	23.9	23.8	23.4	23.6
2000	23.9	25.3	26.6	27.4	26.8	25.9	25.3	24.6	24.5	24.5	24.3	24.4
2001	25.1	26	27.2	27.4	26.9	26.4	25.6	24.9	24.4	24.4	24.5	24.6
2002	25.2	26.3	27.3	27.6	27.3	27.2	26.2	25.5	25.7	25.8	26.4	26.5
2003	26.4	26.8	27.2	27.1	26.3	26	25.8	25.1	25.1	25.4	25.4	25.6
2004	26	26.6	27.2	27.4	26.8	26.4	25.6	25.3	25.2	25.3	25.6	25.8
2005	26	26.2	26.9	27.6	27.5	26.7	26	25.3	24.7	24.6	24.2	24.1
2006	24.8	26	26.4	27.2	27.1	26.5	25.8	25.5	25.8	25.9	26.1	26.4
2007	26.5	26.4	26.7	26.9	26.4	25.9	24.9	24	23.7	23.5	23.5	23.6
2008	24.2	25	26.5	27.1	27	26.5	26.1	25.6	25.1	24.8	24.9	24.6
2009	25.1	25.8	26.5	27.4	27.5	27.2	26.6	25.9	25.7	25.7	26.3	26.6
2010	26.7	27.2	27.8	28.1	27.1	25.8	24.8	24.1	23.7	23.4	23.5	23.7
2011	24.2	25.6	26.4	27.2	26.9	26.6	25.7	24.7	24.3	24	23.9	24.3

図9 Nino.3データ（月別海面水温）の抜粋※8

月平均海面水温偏差

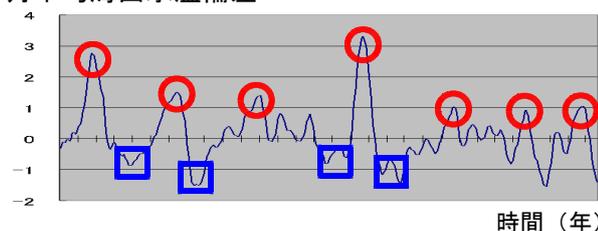


図10 月平均海面水温偏差の5ヶ月移動平均値のグラフ(1981~2010の30年間)○印はエルニーニョ, □印はラニーニャの状態を示す。

### 6 地学的に探究の方法を活用する場面の設定

エルニーニョ現象を題材とした学習活動ではDagik Earth, 水槽モデル実験, 観測データを総合的に活用することで, 地学的に探究の方法を習得させることが期待できる。探究の方法の習得の他に, 「科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から, 探究活動において言語活動を充実する学習指導を重視する」※1 必要もある。地学において, 言語活動の有効性が発揮される探究のプロセスを4つに分けて概念図(図11)で示す。終わりに, これら探究のプロセスを活用する具体的な場面設定を例示する(図12)。

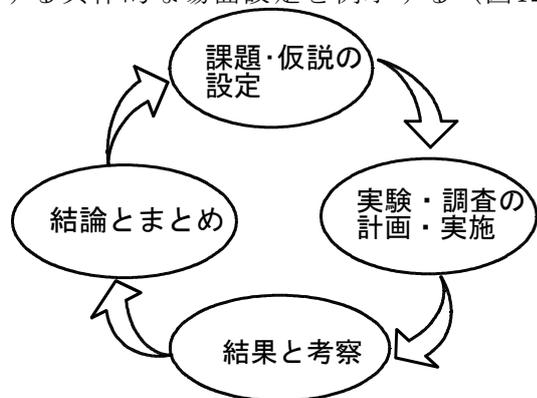


図11 言語活動の有効性が発揮される探究の4つのプロセス

今年度は, 本学習プログラムの一部(水槽モデル実験と観測データの解析)をサイエンスキャンプで数名の高校生に試みたのみで, 有効性について更なる検証・改善が必要である。今後は本学習プログラムの内容を整備し, 指導資料として当センターホームページに掲載することで, 広く活用が図れるよう準備を進めていく予定である。

□科目 地学基礎 □単元名 変動する地球 □本時の 地球温暖化, オゾン層破壊, エルニーニョ現象などの現象を取り上げ, それらが人間生活に 目標 関連していることを扱い, 人間生活と関連している地球規模の自然環境の変化を科学的に考察 □学習の させる。 流れ (24時間目, 25時間目/全34時間)	指導上の留意事項
【Dagik Earthによるエルニーニョの観察】 1 前事の学習内容の確認と本時のねらいを説明する。 2 赤道太平洋の海面温度の変化を観察する。 【エルニーニョ現象の水槽モデル実験】 3 前半にDagik Earthで観察した結果を確認する。 【言語活動の充実】 4 観察, 実験の計画や結果の予想を話し合う。 5 貿易風が弱まったときと貿易風が強まったときの, それぞれの実験結果を記録し, 整理する。 【言語活動の充実】 6 実験結果を基にした話し合いや発表をする。	・デジタル地球儀(Dagik Earth)を活用する。 ・ペルー沖の海面温度の変化に注目させる。 Dagik Earthの機能を活用して効果的に観察させる。 実験の条件に目を向けさせ, 何を調べようとしているか確認させる。 ・このモデル実験では, 大気から海洋への応答を調べる。 ・この実験では, 何をモデル化しているかを事前に確認する。 ・貿易風が変化したときの表層の暖水と深層の冷水の, それぞれの東西分布と鉛直方向の隔層の変化を予想し話し合わせる。 実験結果を効果的に観察するための工夫を考えさせる。 ・貿易風の強弱, 表層の暖水と深層の冷水の, それぞれの水平分布と鉛直分布を表に記録し, 整理する。 ・ビデオカメラやデジタルカメラで記録する。 ・実験結果に基づいた説明をさせる。 ・このモデル実験の限界と実際の観測データを調べる重要性に気付かせる。 一人一人にじっくり考えさせるとともに, 班で協議させた後, 自らの考えをまとめさせる。
【観測データの解析を行う実習】 1 前事の学習内容の確認と本時のねらいを説明する。 【言語活動の充実】 2 エルニーニョ現象と人間生活の関連について課題を見だし, 仮説を設定する。 <設定した仮説の例> A エルニーニョ現象と札幌の夏 B エルニーニョ現象と台風の発生	・エルニーニョ現象が人間生活に関連していることに留意させる。 ・各班で話し合わせ, 課題を見だし, 仮説を検証するための見通しをもった方法を計画させる。 ・仮説を検証するために必要な観測データを入手させる。 ・仮説を検証するためにコンピュータの活用を図らせる。 A 仮説 エルニーニョ現象が起こると, 札幌の夏は冷夏となる。 B 仮説 エルニーニョ現象が起こると, 台風の発生が少なくなる。
【言語活動の充実】 3 観察, 実験の結果や考察を基にした話し合いや発表をする。	・班毎に設定した仮説と検証結果を発表する。 ホワイトボードやプレゼンテーションソフトを活用させる。
【言語活動の充実】 4 実習の報告書作成の準備をする。	・結果に基づいて考察を述べさせる。 ・3の話し合いや発表を踏まえて, 結果と考察を整理する。
5 本時のまとめを行う。	・エルニーニョ現象などの自然環境の変化には, 人間活動によるものと自然の他の変動によるものがあることも認識させる。

図12 エルニーニョ現象を題材とした学習プログラムの流れ※9

### 7 謝辞

Dagik Earth(ダジック・アース)の機材はダジック・チーム(京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 齊藤昭則氏)から貸与された。同チームに心から感謝申しあげる。

### 参考文献

- 1) 文部科学省 高等学校学習指導要領解説理科編 pp.175 2009
- 2) 小倉義光 一般気象学 東京大学出版会 pp.308 1999
- 3) [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensocycle/lanina\\_schem.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/lanina_schem.shtml)
- 4) <http://earth.dagik.org/>
- 5) 木村龍治他 エルニーニョ現象を体験しよう 東北大学出版会 pp.50-51 2003
- 6) 酒井敏 地球流体基礎実験集第2版 1997
- 7) <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/mikata/mikata.html>
- 8) <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/index/dattab.html>
- 9) 北海道教育庁 H23高等学校教育課程編成・実施の手引き

(きのした あつし 地学研究班)