

1945 年緑十字機不時着より推定される 遠州灘鮫島海岸の地形と沿岸流の変化

静岡県立磐田南高等学校

地学部地質班 3 年 妹尾梨子 2 年 高木瑛登 西山泰正 1 年 石神郁弥

1 動機・目的

磐田南高等学校地学部地質班は、これまで、本校から約 8 km 南に位置する鮫島海岸（図 1 参照）で継続的に研究を行ってきた。一昨年度は、鮫島海岸における海岸侵食と消波ブロックの効果について、地学的視点から研究を行い、海岸侵食が過去 5 年間で継続的に進行していること、消波ブロックの効果は単独型より連続型の方が大きいことなどを明らかにした（川井ほか，2016；山田ほか，2016）。そこで、昨年 6 月に、さらに古い時代の鮫島海岸の海岸侵食や地形を調べるために調査を行っていたところ、1945 年 8 月 20 日に図 2 の「緑十字機」が鮫島海岸に不時着していたことを知った。この「緑十字機不時着」に着目すれば、資料も多く目撃者が複数いるため、1945 年の鮫島海岸の地形や沿岸流、波浪について復元出来ると考えた。さらに、これを現在の地形や沿岸流と比較すれば、70 年間の海岸侵食や沿岸流の変化が解明できると考え、この研究を始めた。



図 1 鮫島海岸の位置



図 2 緑十字機の復元

2 仮説

この研究を進めるに当たり、以下の 3 つの仮説を立てた。

- (1) 沿岸流の方向は、当時も現在も西から東である。
- (2) 波浪による水流の速さは、当時も現在も 0.1m/s 程度である。
- (3) 海岸線の位置は、当時は海岸侵食がなかったため、現在よりも海側にあった。

3 研究内容

(1) 現在の沿岸流の方向

ア 方法

遠州灘鮫島海岸において、「うき」を海岸線から手動によって外浜の海に投入した。次にうきの移動経路や速さを調べるために、うきを放った地点(基準点)から東西どちらの方向にうきが何メートル移動したのかを記録した。

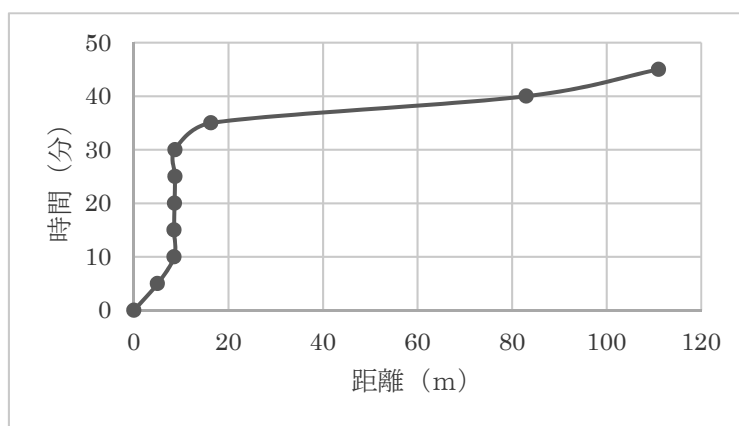


図 3 海面を浮遊するうきの基準点からの距離と時間変

イ 結果

移動距離と時間の結果を図3に示す。うきを外浜に投入してから30分までは、うきは海岸付近を海岸線と直角の南北方向に往復運動していたが、35分からは一気に沖に運ばれ、その後、西から東に移動していった。

(2) 1945年当時の沿岸流の方向

ア 方法

2017年6月11日に「緑語会」が開催した「緑十字機目撃者の証言を聞く会」に参加し、不時着した緑十字機の複数の目撃者から直接証言を伺う聞き取り調査を行った。また岡部英一氏の著書である「緑十字機決死の飛行」(岡部英一, 2017)の証言集からも収集した。次に収集した証言を、目撃した時系列に並び替えた。

イ 結果

緑十字機不時着後の証言は次のとおりである。「機体は潮が引いた波打ち際にある。」、「少し傾いた状態で不時着していた。」、「機体はほぼ東に向き、大きな損傷もなくそのままの形で波に洗われていた。」や「台風により機体が傾いていた」、「台風により8月28日に予定されたマッカーサーの厚木飛行場への到着が遅れた」などである。その後、台風により原型をとどめた緑十字機の機首の方向が、変化して



図4 推定される緑十字機不時着後の変化と移動

いく様子がわかる証言もあった。このことから、図4のように推定される。

(3) 水流の速さの計算

ア 方法

緑十字機が海岸から流され始めるときの水の流速を求めるために「抗力」を求める公式を利用する。 D を抗力、 ρ を海水の密度、 v を水の流速、 S を代表面積、 C_D を抗力係数とし、抗力は以下の式で表すことができる。

$$D = 1/2 \rho v^2 S C_D$$

目撃証言の「砂の上に乗っかっているだけの機体は波の力で動かされて」から、波浪の水流に対する緑十字機の抗力が機体と海浜の砂の摩擦力より大きくなれば動き出すと考えた。そこで、緑十字機が浜から動き出した時の最低限の水の流速を求める。摩擦力 F は、 μ を静止摩擦係数、 N を垂直抗力とすると、 $F = \mu N$ の式で求められる。緑十字機が動き始める流速を求める場合、図5-2-1のように垂直抗力 N は $Mg - \text{浮力} - \text{揚力}$ である。

浮力は、海水の密度を ρ 、緑十字機の体積を V 、重力加速度を g とすると、浮力 $= \rho V g$ で求められる。また揚力は、海水の密度を ρ 、海水の流速を v 、代表面積を S_L 、揚力係数を C_L とすると、揚力 $= 1/2 \rho v^2 S_L C_L$ で求められる。よって、緑十字機が動き出すための条件式は以下のとおりである。

$$\mu (Mg - \rho V g - 1/2 \rho v^2 S_L C_L) < 1/2 \rho v^2 S C_D$$

$$\text{静止摩擦係数} \times (\text{重量} - \text{浮力} - \text{揚力}) < \text{抗力}$$

これを変形して、緑十字機が動き出すときの海水の流速 V の条件式を導出した。

$$v^2 > \{2 \mu (M - \rho V) g\} / \{\rho (SC_D + S_Y C_L \mu)\}$$

この条件式に数値を代入して流速を計算する。

計算に用いる緑十字機の重量は岡部（2015，2017），1式陸上攻撃機各型諸元性能表，精密図面に記載されていた諸量より 9500kg，揚力係数と抗力係数は牧野光雄（1989）の「航空力学の基礎第二版」より，それぞれ 0.6，0.03 だと分かった。しかし，「静止摩擦係数」，「緑十字機の堆積」，「抗力・揚力を求める際の代表面積」は，文献に記載が無かったため，実験により求めた。その実験の方法と結果を以下に示す。

イ 静止摩擦係数を求める実験

方法は，遠州灘鮫島海岸の砂を長さ 120cm×幅 35cm の板に均等に貼り付ける。この砂を貼り付けた板を海岸の表面とみなし，ジュラルミンからなる機体の代用として，同じ軽金属の汚れたアルミニウム板を用意する。これを砂の板の上に置いて砂の板の傾斜を変えていき，アルミニウム板が滑り始める摩擦角を求め，その正接を求める。平均値を求めた結果，静止摩擦係数の平均値は 0.82 となった。

ウ 緑十字機の体積を求める実験

方法は緑十字機の 1/72 スケールのプラモデルと実物の体積の比率によって実際の緑十字機の体積を求める。まず，容器に水を入れてその中に不時着を模した状態でプラモデルを沈める。次に，その時の水面に印を付け，水からプラモデルを出し，低下した水面にも印をつける。その差分の水の体積をメスシリンダーで調べ，プラモデルの体積を測定する。プラモデルの縮尺は 1/72 のため，実際の緑十字機の体積は，プラモデルの 72³ 倍として計算し，緑十字機実物の体積を導出する。この結果，水の体積は 285cm³であったことから，プラモデルの体積も 285cm³である。よって実際の機体の体積は (285×72³) ÷ (100³) = 106m³となった。

エ 抗力・揚力を求める際の代表面積を求める実験

方法は，始めに 1cm 角の正方形に切りとった厚紙と写真の緑十字機に合わせて切りとった厚紙の両方の重さを電子天秤で測り，1cm 角の正方形の厚紙の重さが 1cm²の重さであるとし，写真の緑十字機の面積を求めた。次に，求めた写真の緑十字機の面積と，写真と本物の緑十字機との面積比を用いて本物の緑十字機の代表面積を求めた。この結果，1cm 角の正方形の厚紙の質量は 0.02g であることから，揚力を求めるための代表面積 S は 139m²，抗力を求めるための代表面積 S_Y は 26.8m²であることが分かった。

実験より，すべての値を知ることができた。計算に用いる値を表 4 に示す。なお，有効数字は 2 桁とする。これらの値を前述した動き出しの条件式 $v^2 > \{2 \mu (M - \rho V) g\} / \{\rho (SC_D + S_Y C_L \mu)\}$ に代入して計算を行う。なお，計算を行う際，複数の証言より，機体の中には機体が海に浸かっているあたりまで海水が入っていたということがわかったため，機体の中に入っている海水の重さも考慮して計算を行う。

オ 結果

図 5 の数値を流速を求める式へ代入すると

$$v^2 > \{2 \cdot 0.82 \cdot 9500 \cdot 9.8\} / \{1.0 \times 10^3 (27 \cdot 0.03 + 140 \cdot 0.6 \cdot 0.82)\}$$

物理量	値
M：緑十字機の重量	9500kg
g：重力加速度	9.8m/s ²
ρ：海水の密度	1.0×10 ³ kg/m ³
C _L ：揚力係数	0.6
C _D ：抗力係数	0.03
μ：静止摩擦係数	0.82
V：緑十字機の体積	110m ³
S _Y ：揚力を求める代表面積	140 m ²
S：抗力を求める代表面積	27m ²

図 5 波の速度を求める計算に用いた物理量

これを解くと $v > +1.5$ または $v < -1.5$

ここで、 $v > 0$ より $v > +1.5$

以上より、緑十字機が流されだすのに必要な波の水流の速さ (v) は 1.5m/s 以上であることがわかった。

(4) 鮫島海岸の地形の変化

ア 方法

まず、1945 年当時と現在の鮫島海岸の地形を比較するために、国土地理院発行の航空写真（図 6 参照）を比較した。航空写真については、袋井土木事務所から 1946 年 5 月と 2016 年 11 月の海岸周辺の空中写真を提供して頂いた。また、海底地形図や海底地質図も参考にした。さらに詳細な地形を知るため、緑十字機目撃者から直接当時の鮫島海岸の地形についての証言を収集した。証言の収集は緑十字機目撃者の証言を聞く集会に参加して直接証言を聞き、岡部英一（2017）の「緑十字機決死の飛行」の証言集からも収集した。

イ 結果

図 6 の 2016 年と 1946 年の航空写真等を比較した結果、当時の汀線は現在の汀線より約 100m 海側にあることがわかった。

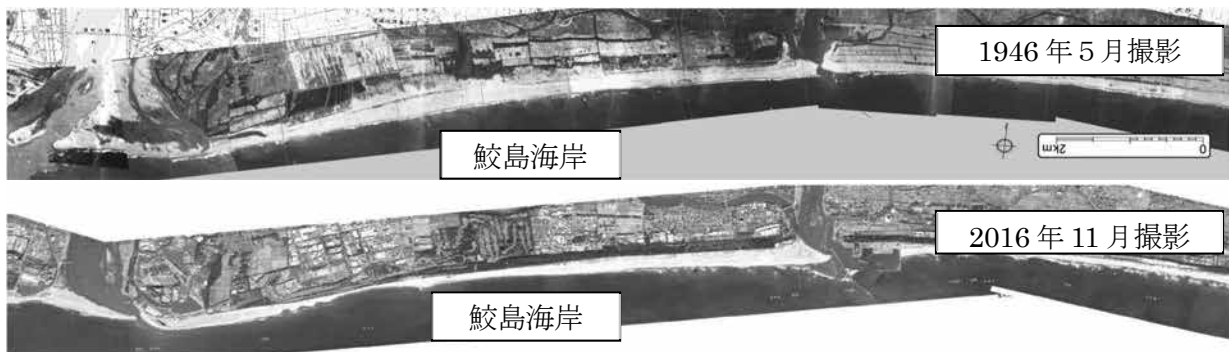


図 6 国土地理院公開の鮫島海岸周辺の空中写真 1946 年 5 月（上）・2016 年 11 月（下）

4 結論

緑十字機不時着当時と現在を比較すると沿岸流の向きは、現在と同じ西から東に流れていた。緑十字機不時着後に襲った枕崎台風による強い波により 1.5m/s 以上の水流が発生した。この枕崎台風により緑十字機は次第に解体、移動、埋没していった。現在の鮫島海岸の海岸線は、当時と比べると海岸侵食により約 100m 陸側に後退し、緑十字機不時着当時に存在していた小さい砂丘や「ザーラ」と呼ばれる池は消失した。

5 今後の展望

現在でも緑十字機の部品のほとんどは鮫島海岸の海底にあると考えられ、今回の研究を踏まえ、さらに資料を集めたり考察したりすることにより、埋没している緑十字機の部品の位置を特定したい。もし、これらの部品の発見することができれば、今まで知られていなかった日本の終戦の歴史や枕崎台風の被害が明らかになる。さらに、緑十字機の不時着を支援した鮫島地区の住民の顕彰にもつながり、地域に貢献ができる。

今回の研究では、海底に埋没した緑十字機の部品の推定の方法については触れていないが、流体力学のナビエ・ストークス方程式を用いた数値シミュレーションにより、現在発見されている部品の位置から、すでに当時の沿岸流の流速の推定を試みるための計算の土台を作成した。しかし、現時点では、その計算に用いる初期値を十分に得ることができなかった。今後、資料収集、考察を重ねること

で、初期値を求めてシミュレーションを行い、未だに見つかっていない緑十字機の部品の位置を特定したい。

6 謝辞

この研究をすすめるにあたり、静岡大学教授原田賢治先生には沿岸流の計算をする際に適切な助言をいただきました。「緑十字機決死の飛行」の著者である岡部英一氏と鯨島地区自治会長の三浦晴男氏には、緑十字機に関する様々な資料を提供して頂きました。伊藤毅氏と増田一雄氏、中津川宋全氏、内藤光次氏、鈴木勝哉氏、原田誠氏をはじめ鯨島地区の方々には、緑十字機を目撃証言の収集に協力して頂きました。なお、公益財団法人山崎自然科学教育振興会と静岡大学未来の科学者養成スクールからは、研究助成の支援をしていただきました。改めて感謝を申し上げます。

7 引用文献

引用論文

川井ほか, 2016, 遠州灘鯨島海岸における消波ブロックの海岸侵食に対する影響, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会講演要旨, 002-P48

山田ほか, 2016, 遠州灘鯨島海岸における消波ブロックの海岸侵食に対する影響, 第 14 回高校生科学技術チャレンジ (JSEC2016), 応募論文, pp11

岡部英一. 2015, 緑十字機の記録. 自費出版, pp357

岡部英一, 2017, 緑十字機決死の飛行, 静岡新聞社, pp427

牧野光雄, 1989, 航空力学の基礎第二版, 産業図書, pp290

Hatane Terada, 2018, The White Dove of The Green Cross Plane, The Transmissio Society, publishers of the story concerning” The Green Cross Plane” pp9

寺田はたね, 2017, 平和の白いはと-みどり十字機ものがたり-, 緑十字機不時着を語り継ぐ会, pp32
引用ホームページ

バイオウエザー お天気豆知識 終戦と台風

<https://www.bioweather.net/column/weather/contents/mame068.htm>

気象庁 災害をもたらした気象事例

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/1945/19450917/19450917.html>

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/1945/19451009/19451009.html>

波浪に対する海流の影響調査 久保 剛太 高野 洋雄

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou-kaiyou/77/vol177s141.pdf>

気象庁 2017 年 8 月 12 日の気象

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/10min_a1.php?prec_no=50&block_no=1244&year=2017&month=8&day=12&view=

参考映像資料

1. ザ・スクープスペシャル「緑十字機決死の飛行～誰も知らない“空白の 7 日間”～」
，朝日テレビ，平成 28 年 8 月 14 日放送
2. 「緑十字機が運んだ終戦」，静岡朝日テレビ，平成 28 年 11 月 20 日放送