

山口県室積海岸における着色砂の画像追跡による漂砂移動特性の分析

Study of Sediment Movement Characteristics on Murozumi Coast Based on Color Sand Tracer Experiments

田島芳満¹・長谷川貴也²・三宅健一³・加藤広之⁴・藤井政弘⁵・井上孝紀²

Yoshimitsu TAJIMA, Takaya HASEGAWA, Kenichiu MIYAKE, Hiroyuki KATO,

Masahiro FUJII and Takayuki INOUE

Ultimate goal of this study is to understand how the sediment placed on eroding beach as part of reclamation work behaves. Field reclamation experiment has been carried out at the Murozumi coast in Yamaguchi prefecture. In the experiment, sand with two different colors, blue and green, was also placed as a tracer. To enhance the temporal and spatial resolutions of the tracer survey, this study aims to develop an image-based technique for estimation of the rate of color sand grains from the on-site images of the beach sand surface taken by a GPS digital camera. Validity of the newly developed image-based technique was examined through comparisons with the data obtained from sampled sand. Obtained movement of color sand was then compared to the morphology change around the reclaimed area captured by field camera.

1. はじめに

山口県光市の室積海岸には、「日本の白砂青松の海岸100選」にも選ばれる美しい海岸が広がる。しかし近年、島田川河口部左岸の埋立地や導流堤の延長、防波堤の建設等の周辺環境の変化に符合するように、島田川河口部では土砂の堆積が(田島ら, 2011)、室積海岸南側では侵食がそれぞれ顕著になってきた(図-1)。室積海岸の侵食域ではすぐ背後に居住区域があり、海岸侵食に伴う高潮被害リスクの増大も懸念される。光市では海岸侵食の要因を解明し、自然環境を保持しながら海岸を保全する工法に関する検討が進められてきた。その結果として、島田川河口部における堆積砂を室積海岸の侵食域に養浜するサンドリサイクルが検討されているが、効果的な養浜の位置や量を設計するには、季節変動を含む養浜砂の移動方向や移動量などの基礎データの蓄積が必要不可欠となる。特に当該地点では、潮位差が比較的大きく、養浜砂の移動特性は潮位による影響を大きく受けることが想定される。本研究では、2014年1月に試験的に実施された室積海岸における養浜に合わせ、着色砂を投入し追跡することにより、当該地点における養浜砂の移動特性を把握することを目的とする。

室積海岸では大潮干潮時には汀線付近の海底面が広く干出することを利用し、砂面を直接撮影した画像に基づき着色砂をカウントすることにより、広域かつ高解像度

に着色砂分布を取得可能な調査手法を構築することも目的のひとつとする。

2. 調査概要

2014年1月に実施された試験養浜に合わせ、2014年2月に着色砂を投入しその追跡調査を行った。また、養浜地形をモニタリングするため、地形計測に加えて定点観測カメラによる養浜地形周辺の画像監視も実施した。本論文では、着色砂追跡調査と定点観測カメラ画像の分析に基づき、室積海岸における漂砂移動特性の把握を試みる。以下、着色砂追跡調査および定点観測カメラによる画像監視の概要を整理する。

(1) 着色砂追跡調査

試験養浜竣工後の2014年2月7日に青色および緑色の着色砂をそれぞれ異なる地点に投入した。投入地点は養浜の北側(青色)および南側(緑色)で、岸沖方向の投入位置は平均潮位時の汀線位置付近とした(図-2)。着色砂の投入量はそれぞれ4トンとし、粒径は現地砂と同等の0.8mm~1.6mmとした(写真-1)。

投入後は、1日後、6日後、10日後、20日後、それ以後は大潮を目安に1ヶ月に1度の頻度で着色砂のカウントを実施した。通常行われる表層砂の採取に加え、本研究では室積海岸において干潮時の干出域が広いことを利用し、干潮時に合わせて投入地点周辺の砂面をGPS内蔵型のデジタルカメラで直接撮影し、その画像を解析することにより、各地点における着色砂の分布(含有率)を計測する。

画像解析技術を活用して着色砂の計数した既往の研究事例としては、現地で採取した砂を実験室で撮影し、着色砂数をカウントする手法などがあげられるが(たとえば上山ら, 2009)、本研究では、着色砂の粒径が比較的大

1	正会員	Ph.D.	東京大学大学院工学系研究科教授
2			東京大学大学院工学系研究科修士課程
3	正会員	修(工)	中電技術コンサルタント株式会社
4	正会員	修(工)	財団法人 漁港漁場漁村研究所
5	正会員		光市



図-1 室積海岸および島田川



図-2 養浜前後における室積海岸地形の比較と、着色砂投入地点(青および緑の三角.)



図-3 着色砂の投入状況

大きく、現地における直接撮影でも着色砂を精度よく検出できると考えた。撮影はGPS内蔵型のデジタルカメラで行い、カメラを架台に取り付け、インターバル撮影を行うことにより手ブレ等による撮影画像の劣化を予防した。また本研究では、着色砂と同時に養浜砂も投入しており、養浜砂には粒度の小さい成分も含まれ、粒度の粗い着色砂の上に細粒成分が層状に堆積する傾向が見られたため、本研究では表層の細粒成分を取り除いてから撮影およびサンプル採取を行った。

(2) 着色砂の検出

撮影画像から着色砂を検出する。上山ら(2009)の用いた検出器では、撮影画像から着色砂粒子を判別し、粒子数を出力していたが、本研究では現地での撮影画像を用いる点で条件が異なる。現地で撮影する砂面では粒子が重なって撮影されるため、個々の粒子に分類することが困難な条件も多々あると考えられる。そのため、本研究で

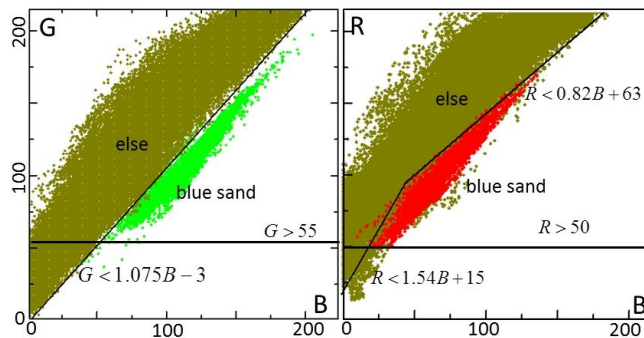


図-4 着色砂画素判定条件



図-5 撮影画像例(左)と検出した着色砂画素位置(右)

は、撮影画像の全画素に対して着色砂と検出された画素数の割合をそのまま出力してその相対的な大小関係を直接比較することとした。

着色砂を写した画素(以下、着色砂画素と呼ぶ)の検出は撮影画像の各画素のRGB値に基づき判定する。まず現地で撮影した画像から目視により着色砂画素を複数抽出し、それらのRGB値をその他の画素のRGB値と比較しながら検出条件を定めた。図-4は青色着色砂およびそれ以外の砂粒子の撮影画素のRGB値の分布を比較したもので、図の直線は検出条件を示している。図の様に、RGB個々の値の閾値だけでなく、BとG、またRとGの比を閾値として用いることにより検出精度が向上する。また、白色度の強い粒子では、光の当たり具合により局部的に青色や緑色のRGB値を検出することがあったため、本研究ではRGB値の条件を満たす画素であっても、それらの画素が想定している粒子の大きさの半分以上を占める群となっているときのみ、着色砂画素であると判定した。図-5に実際の撮影画像の一部を切り出したものと、検出し

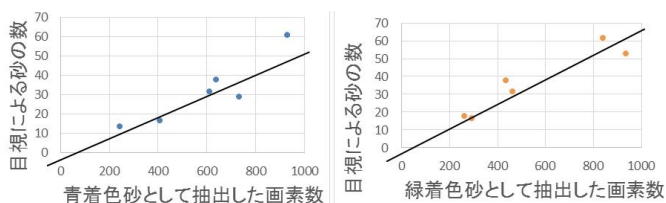


図-6 目視による着色砂の数と自動検出した着色砂画素数

た着色砂画素の例を示し、図-6には撮影画像から目視で数えた着色砂の粒子数と、画素値から自動的に検出した着色砂画素の数を比較した。両者はほぼ比例関係にあり、自動検出システムにより、着色砂画素は良好に検出できていると考えられる。

(3) 定点カメラによる地形変化の画像監視

図-2に示した養浜地形の背後に位置する集会所に定点観測カメラを設置し、図-2に破線で囲んだ領域を主対象に、静止画の連続撮影を実施した。海浜地形の変形を捉えることが主目的であったため、撮影時間間隔は10分とした。撮影した画面の中に、座標のわかる基準点を10点設定し、田島ら(2007)、Holland et al.(1997)らの手法に基づき撮影画像の座標変換を行う。図-7に撮影した画像の例を、図-8に座標変換により、真上から海岸を見下ろした画像に変換したものをそれぞれ示す。

図-7には着色砂を投入した直後の2月8日に撮影した画像とその約2か月後の4月10日に撮影した画像を示している。2月の画像の右奥には、養浜によって沖に向かって張り出した地形が見られるが、4月の画像ではこの沖に張り出した地形は消失しているのが分かる。図-8は、海岸線を真上から見た画像へと変換されているが、カメラの設置位置が右上で、左側の境界付近に養浜によって沖に張り出した地形が位置する。図-8の出力範囲は図-2の破線枠に示している。ここで示した座標変換は、画像に写っているすべての点が同じ水平面上にあると仮定して、その水平面上での位置を推定している。このため、養浜地形上部のように標高の異なる地点にある対象物の推定座標は正しく表示されないのが注意が必要である。

3. 調査結果の考察

以上に整理した着色砂追跡調査および定点観測カメラによる画像監視調査の結果を整理する。

まず、GPS内蔵型デジタルカメラで撮影した、個々の地点における砂面の画像について、検出した着色砂画素の含有率を出力し、その空間分布をGoogle Earth上に図示した。その結果を図-9に示す。図中の青および緑の三角形は、それぞれ青色砂、緑色砂を投入した地点を表している。図より、投入した着色砂が図の左向き(北向き)に徐々に拡散しながら移動している様子が分かる。また、緑色の着色砂と青色の着色砂の分布を比較すると、図に



図-7 定点観測カメラで撮影した画像(2/8 および 4/10 に撮影)

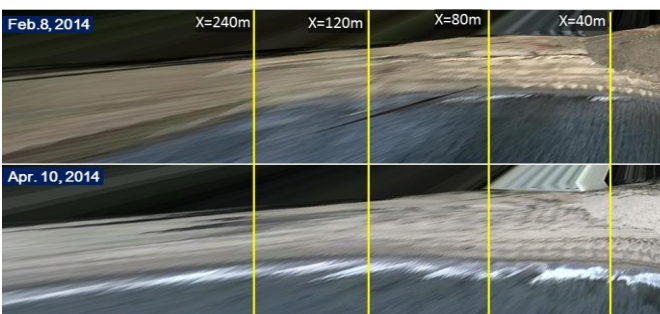


図-8 座標変換後の画像(図-7の画像を変換)

見える右側(南側)の離岸堤から離れた養浜砂の北側に投入した青色砂の方が早く北に移動しており、緑色の砂は投入地点の近傍により長く留まりやすい傾向があることが分かる。

次に図-10には、図-8の座標変換画像に示した、カメラ設置位置から40m北側の地点(X=40m)の岸沖方向測線上での画素を抽出し、10分毎に撮影した全画像に対して抜き出した線上の画像を横方向に並べたものを示す。図の横軸は時間となり、一画素が10分に相当する。また、夜間は撮影を行っていないため、撮影していない時間(10分単位)には黒い線が示されている。すなわち、図に見える画像の帯と黒い帯との組み合わせが一日に相当することになる。撮影を開始した2月7日から4月16日までは、横方向に長いデータとなったため、図-10は、途中で分割して縦に並べ、部分的に撮影日を示した。図より、縦方向は上が岸向き下が沖向きの岸沖測線を示し、下半分は海面となるため日照条件によってやや青く写っており、砂面との境界線(汀線)が、潮位変動に伴い上下に振動しているのが読み取れる。さらに、汀線境界の沖側(下側)の色合いに着目すると、4月4日や6日、10日などでは、白い色が混ざっており、これらの日には来襲波浪が比較的大きく、波打ち際での砕波が顕著であったことが分かる。これは図-7に示した2月8日と4月10日の画像の比較からも明らかである。

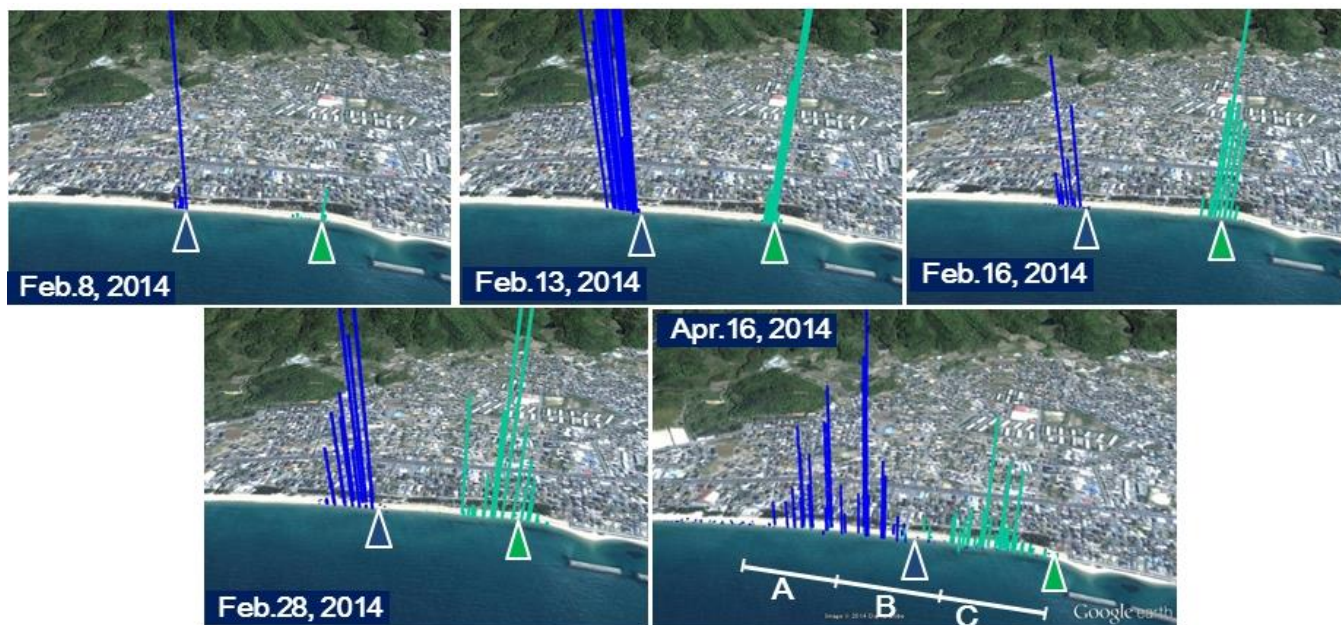


図-9 着色砂画素含有率の平面分布

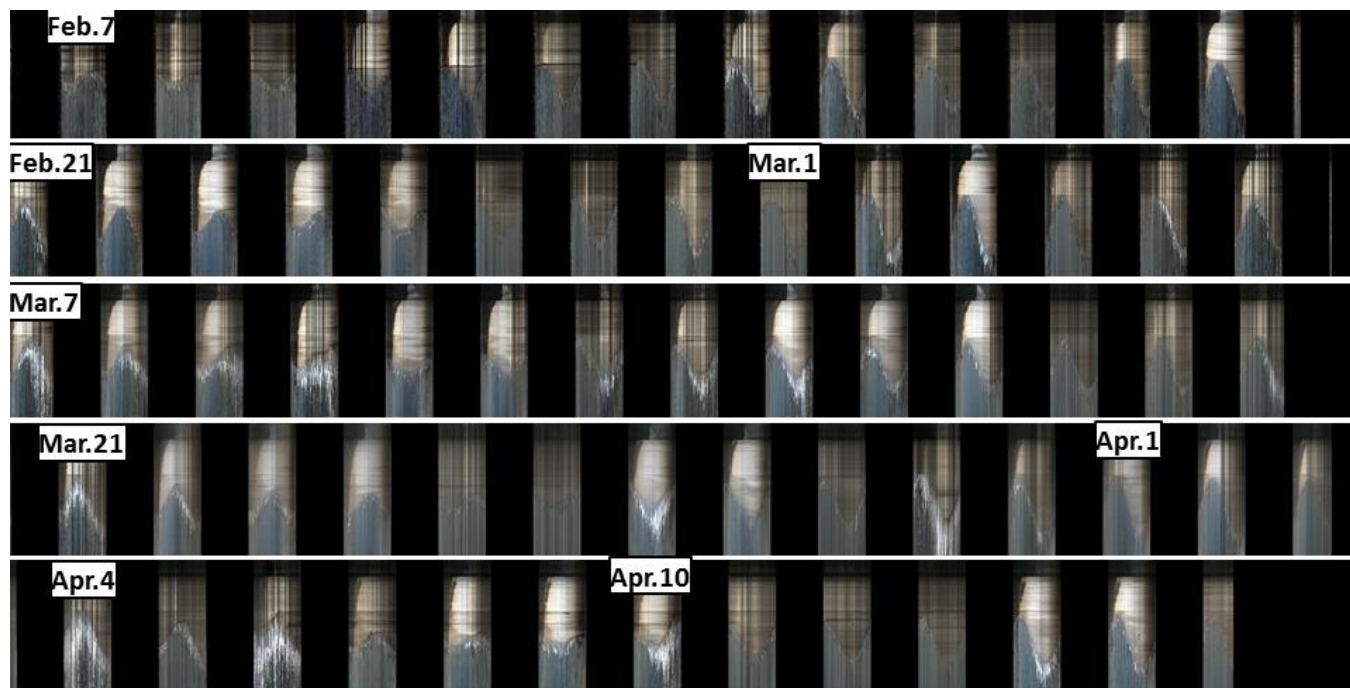


図-10 岸沖測線上(X=40m)の画像の時間変化

図-10 に示した岸沖測線上の画像の時間変化に基づき、汀線位置の時間変化を数値的に抽出して図示したものを図-11 に示す。図-11 の上段および下段にはそれぞれ $X=40m$, $X=240m$ 測線における汀線位置の変動を示しており、中段の波形は徳山の検潮所における潮位変動を比較のために示している。また、潮位変動の振幅と汀線位置の変動振幅との関係を見るため、図の波形の背後には中段に示した潮位変化の包絡波形を色をつけた背景で示し、同じ形状のものを上段および下段の波形の背景にも示している。中段の図の縦軸は鉛直方向高さ(水位)であるのに対して、上段および下段の縦軸は岸沖方向(上が岸向

き、下が沖向き)の水平位置を表している。

図より、潮位変動と汀線位置の変動は、大潮、小潮に伴う振幅のマクロな変動傾向についてよく一致するものの、一日の潮汐に伴う波形には違いが見られる。特に、上段に示した $X=40m$ の波形に着目すると、まず全体として変動の平均位置が背後の潮位による包絡波形に比べると下向きに移動しており、すなわち、平均的な汀線位置が沖向きに移動していることが分かる。これは、養浜砂が徐々に沖に運ばれて堆積し、沖合の水深が浅くなったことにより、各潮位に対応した汀線位置が全体的に沖向きに移動したためであると考えられる。一方、下段の波

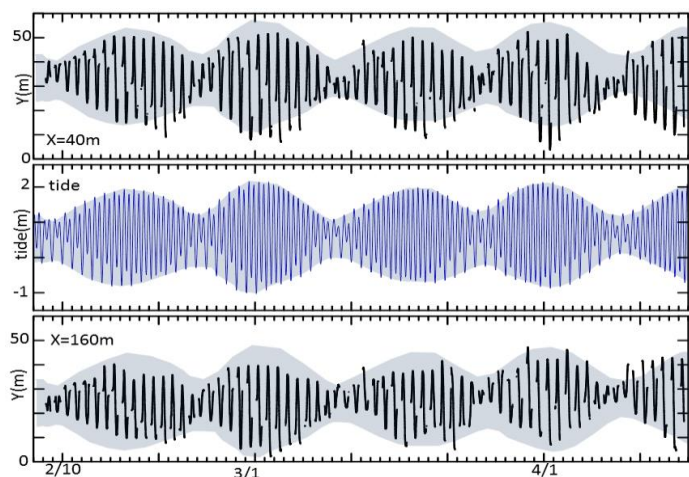


図-11 測線(X=40m および X=240m)における汀線位置の時間波形(上段および下段)と、徳山検潮所における潮位変動の比較。背景の網がけは全て潮位変動の包絡波形。

形では、特に満潮時における上側(岸側)の汀線位置が潮位の包絡波形に比べて相対的により上向き(岸向き)に変動するようになっているのが分かる。これは、下段の X=240m は養浜によって沖向きに張り出した地形の近傍であり、調整や波浪の作用に伴い、汀線位置が岸向きに移動したためであると考えられる。一方、干潮時の沖側の汀線位置には顕著な変化が見られないことから、張り出した養浜地形部分の砂は主に沿岸方向に供給されたものと考えられる。また上段、下段ともに大潮の直後には下側(沖側)の汀線位置の変動幅が大きくなり、小潮の後には上側(陸側)の変動幅が大きくなる傾向が見られる。すなわち、潮位変動が比較的小さい小潮の時には養浜した汀線付近の砂が移動し、大潮時にそれが沖向きに運ばれ大潮干潮時に干出する領域周辺部の堆積を促進する傾向があることが推察される。

最後に図-12には、着色砂含有率の岸沖方向分布を示す。図の領域 A, B, および C は図-9 に示した沿岸方向に区分した領域を表し、領域 A は投入地点から沿岸方向移動の最も下手側に位置し、B は青色砂の投入地点近傍、C は緑色砂の投入地点近傍である。図にみられるように、着色砂も岸沖方向に拡散するように移動しており、特に領域 A および B の青色砂の分布に着目すると、投入地点から沿岸方向下手側に離れた領域 A では、標高の高い岸側に多く分布していることから沿岸方向の漂砂移動は水深の浅い汀線付近で卓越的であることを示唆している。一方、投入地点に近い領域 B では、より多くの着色砂が沖向きに移動している。緑色砂の分布についても同様の傾向が見られるが、より詳細な傾向を把握するには、さ

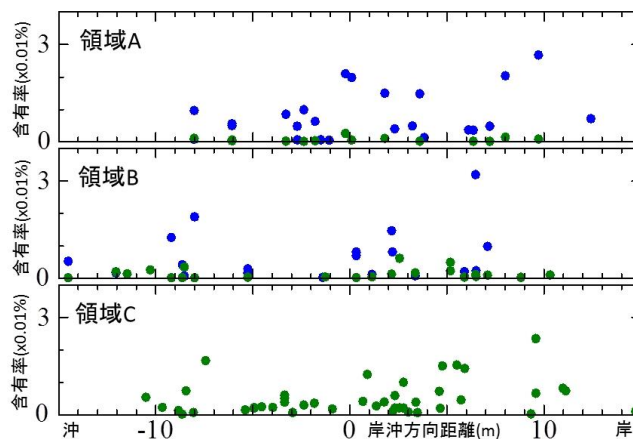


図-12 領域 A~C(図-9)における着色砂含有率の岸沖方向分布。青および緑の点はそれぞれ青色、緑色砂の含有率。

らなるデータの築盛が必要であると考えられる。

4. おわりに

山口県光市室積海岸において着色砂追跡調査および定点観測カメラを用いた干出域の海浜地形モニタリングを実施した。潮汐に伴う干出域が広く、砂粒子が比較的大きいことから、現地で砂面を直接撮影することにより、着色砂の分布を広範囲かつ詳細に計測することに成功し、また画像モニタリングに基づき、潮汐に応じた汀線位置変動特性を把握することができた。いずれの結果においても、沿岸方向および岸沖方向の両方向に移動する漂砂の特性を捉えることができた。今後はさらにデータを蓄積し、潮汐だけでなく、風波の波向きや波高、周期と漂砂移動特性との関係を把握することなどが課題であると考えられる。

参考文献

- 上山聡・牛小静・和田麻美・劉海江・高川智博・田島芳満・佐藤慎司 (2009): 波浪の侵入が卓越する河口エスチャリーにおける波・流れ場と土砂移動, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 65, No. 1, pp. 456-460.
- 田島芳満・丹治雄一・三宅健一・加藤広之・中山哲巖 (2011): 連続静止画像に基づく島田川河口部における地形変動特性の分析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), vol.67, No.2, I_1045-I_1050.
- Holland, K.T., Holman, R.A., Lippmann, T.C., and Stanley, J. (1997): Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies, IEEE J. of Ocean. Eng., 22(1), pp.81-92.