

人工養浜に伴う海岸生物環境の変化と その問題点に関する調査研究

ECOLOGICAL CONSIDERATIONS FOR BEACH NOURISHMENT

---- INSIGHT FROM PROJECTS IN THE USA ----

堀田 新太郎¹・カール ノードストローム²

Shintaro Hotta and Karl F. Nordstrom

¹正会員 工博 日本大学教授 国際関係学部国際交流学科 (〒411-8555 三島市文教町 2-31-145)

²Ph.D., Professor., Rutgers University, Institute of Marine and Coastal Sciences

Beach nourishment is now the principal option for shore protection in some countries, such as the USA and The Netherlands, and it is being increasingly employed in other countries, particularly in Western Europe. Few studies have evaluated the biological aspects, especially the benefits that result from the widened beach. This paper summarizes the state of the art on biological implications of beach nourishment operations in the USA to identify the biological tradeoffs involved in these operations and steps that should be taken to maximize beneficial uses of beach fill.

Key Words : *beach nourishment, ecological consideration, loss of habitat, biota, offshore borrow areas*

1. はじめに

海岸侵食防止工の一工法として人工養浜工がある。養浜はアメリカ合衆国, オランダでは海岸侵食対策工として普通に採用されている工法である¹⁾。

²⁾ 一方, 我が国においては, 人工海浜造成, 海浜公園の整備のために小規模な養浜が施工される例は多いが, 海岸侵食対策として施工された養浜事例は限られており, かつアメリカ合衆国, オランダの事例に比べて規模は小さい。しかし, 最近面的防護法における養浜の重要性, 養浜の砂浜生物環境修復機能が認識され, 養浜の活用が期待される状況になっている。人工養浜に関する文献情報は多い。しかし, 情報の大部分は養浜の工学的知見に関するものである。日本では侵食対策としての施工事例が少ないことから, 工学的観点以外の情報については理解が不足している。特に, 養浜海岸及び養浜砂採集域の生物環境変化の評価に関する情報が少ない。それ故, 著者らは養浜に伴う生物環境への影響についての研究の現状を取りまとめ, 研究の方向を探るために文献調査を実施した。

この研究は, 養浜事業が最大の利益を上げるために必要な方法・手段の中で, 考慮しなければならない生物環境変化に関する問題をアメリカ合衆国内の

養浜事例から明確しようとの試みである。

2. 情報源

対象とした文献は, 海岸侵食対策として普遍的に養浜を採用しているアメリカ合衆国で発表された文献に限られている。養浜に伴う生物調査は費用を必要とするので, 限られた連邦政府機関が調査研究を実施している。主要な機関は, U.S. Army Corps of Engineers, the Mineral Management Service of the U. S. Department of the Interior, the U. S. Fish and Wildlife Service, the National Marine Fisheries Service, the Atlantic States Marine Fisheries Commission, である。情報源は上記諸機関発行の報告書, 学術雑誌の文献である。

養浜によって生じる新海岸域(養浜海岸)及び養浜砂採集域の生物環境の評価に関する文献は限られている。しかも, その多くは曖昧な記述の文献であり, 正確なデータに基づいた文献は数少ない^{3), 4)}。数少ない信頼できるデータに基づいた文献は一般的なある特定地域の環境影響評価調査によるものである(National Research Council)⁵⁾。これ等の文献は養浜に伴う生物学的影響には負の影響が多いことを示している。養浜はその地域に正(良い)と負(悪

い)の影響を与える。養浜によって生じる生物環境への影響を見ると、生物環境への負の影響のみに注目するのではなく、養浜による全体的な影響の中の一影響である、との観点から見る必要がある。

3. 養浜事業が生物環境に与える正と負の影響

養浜は、土砂の採取、運搬、放置に伴う、地形変化、波浪条件の変化、養浜海岸の粒度特性変化、養浜海岸陸地の塩分増加と投棄時の海水飛散による空中塩分増加等により、養浜砂採集区域と養浜海岸及びその近隣地域の生物環境へ様々な影響を与える。養浜施工が生物環境に与える正と負の影響は次のようになる。(Nelson⁴⁾, National Research Council⁵⁾, Roelse⁶⁾, Looney and Gibson⁷⁾, Löffler and Choosen⁸⁾, Nordstrom and Mauriello⁹⁾, Rakocinski et al.¹⁰⁾, US Army Corps of Engineers¹¹⁾ から作成)。

【負の影響】

- 1) 採取区域の生物損傷(生息域の除去)。
- 2) 養浜する海岸の生物の埋没。
- 3) 採取区域と養浜海岸における水質汚濁と沈殿。
- 4) 養浜海岸を繁殖地とする種への妨害。
- 5) 採取区域の生物種の養浜海岸への強制移動。
- 6) 養浜砂採集区域と養浜海岸の地形変化と動力学的条件(波浪条件)の変化。
- 7) 養浜海岸の粒度組成特性変化。
- 8) 養浜海岸陸地の塩分増加と投棄時の海水飛散による空中塩分増加。
- 9) 採集区域、養浜海岸における生息域変化に適応できる好ましくない種の異常増殖。
- 10) 採取区域と養浜海岸の条件変化による種の生態系構造の変化および進化過程の混乱。

【正の影響】

- 1) 砂浜造成(拡幅)による砂浜生息域の形成。
- 2) 飛砂の砂丘補修と砂丘生物生息域の確保。
- 3) 生物の生息に好ましくない粘土層や泥炭層が露出した海岸、人工的な海岸構造物の被覆による生息域修復。
- 4) 希少なあるいは絶滅の危機に直面している種への生息域の確保。
- 5) 高波浪、高潮からの砂丘生物生息域の防護。
- 6) 空間確保による生物種の緩やかな空間変化。

上から判るように負の影響が正の影響より多い。しかし、負の影響を与えているように見える事項であっても、より普遍的な詳細な評価を行えば生物に対し利益があることが予想できる事項もある。科学的な研究は通常負の影響を緩和するために行われる。得られる正の効果を高めるために正の効果を明らかにするような目的で調査されたデータは無い。

4. 負の影響

(1) 養浜砂採取区域の生物損傷と強制移動

この問題については US Army Corps of Engineers¹¹⁾ に詳しい。以下に重要な結果を箇条書で記す。

- 1) 採取区域の浚渫は海底に生息している内生動物(底生動物のうち特に柔らかい海底に棲む動物)集団に有害な影響を与える。場合によっては、その区域を餌場としている商業的に、生物的に重要な魚類に影響を与える。
- 2) 採集区域の浚渫は生物の個体数、生物量、生物群集の数、優勢な種の平均的な大きさ、種と生物量の構成、を減じる。
- 3) 生物の回復については、次のような明らかな事実がある。
 - (i) 水底に生息するある種の個体数が1年以内に回復することができる、
 - (ii) 生物量と生物群集の数の回復には一年あるいはそれ以上の期間を必要する場合もある、
 - (iii) 種と生物量の構成変化の回復にはさらに多くに時間を必要とする。生物の回復は、浚渫する区域が大きくても、浚渫しない小さい幾つかの保護区域を残しておけば、浚渫した区域の生物相の回復を早める¹²⁾。
- 4) 採集区域の浚渫は海底に凹地を作る。比較的浅く早く埋め戻される凹地における内生動物の個体数と多様性は速やかに回復する。しかし、生物群集の機能構造の回復にはより長い時間が必要である¹³⁾。
- 5) 深く長く残る凹地は細粒漂砂の堆積地となり、浚渫前の凹地、あるいは浚渫しない付近の区域に生息している生物集団と異なった生物集団が発生する場合がある。これらの深い凹地では水の循環が制限され、その結果水質の低下(低酸素や酸素欠乏)をもたらす、萎縮した生物集団が発生する。
- 6) 流れと漂砂の移動が激しい浅瀬が採集区域であるとき、凹地は速やかに埋めもどされるので内生動物集団の回復は早いと予想されている。通常、動的な浅瀬から得られる土砂は養浜砂としては良い特性を持っているので、養浜砂の採取区域として浅瀬の利用は勧められる。

(2) 埋没と混濁による生物生息域の混乱

養浜砂の投棄による内生動物群集の損傷は一時的であると予想され、避け難いと考えられている⁵⁾。大事なことは養浜砂搬入後の生物の回復である。潮間帯の生物群集は高波浪時に生じる底質砂の大規模移動に適応する。それ故、養浜砂の粒度特性が養浜海岸の粒度特性に一致するならば、養浜海岸の潮間帯生物に有害な結果はほとんど生じない⁴⁾。

潮下帯生物は砂の動きに適応するには潮間帯生物

より多少安定な条件を必要とするが、土砂投棄による生物生息層の攪乱の影響はほとんどわかっていない⁴⁾。Gorzelay and Nelson¹⁴⁾によれば、養浜は外浜水底動物群へ有意義な負の影響を与えていると云う明確な調査事実は無。潮位差のある海岸の低潮位時に生じる浅い平坦地 (tidal terrace) への養浜は水中生物生息地を被覆し、太陽光を必要とする水中植物が生息している浅海を除去することになる。この問題は高エネルギー海岸では深刻な問題とならない。その理由は高エネルギー海岸では前浜、外浜海底は波による海底地形変化が大きく、また平坦地の生物は前浜の生物と同種であるからである。しかしながら、水深約 3 m より深い海底に棲む微生物が回復するには、水深 3 m より浅い海底に棲む生物の回復よりは比較的静穏な環境と時間を必要とする。感潮入江の生態系維持保護の責任は行政機関とされている。行政機関の養浜による湾内の海底生物群の埋没はしばしば問題とされる。その主要な理由は感潮入江における養浜計画の適合性に欠けるからだとされている^{15) 16)}。

生物埋没の問題は東海岸南部の岩盤海岸リーフに生じている。南東 Florida 海岸の水深 0-4 m 程度の岩盤海岸が養浜あるいは流失した養浜砂によって埋没している。多くの岩盤生息地の生物は固着性であり、その場の魚類の餌場となっている。生物は堆積した土砂を通して養浜海底表面に出ることはできない。岩盤の埋没は完全に異なった生育環境を作ることになる。それ故、魚類の少ない時期に養浜したとしても、養浜は海底の生物条件を変える事になるから、岩盤海底時に生息した魚類が戻ってくる影響を減少することにはならない。岩盤海底の生物個体数は隣接する砂浜海底に比べて多い。岩盤海底の海岸はレクリエーションとしての釣場として利用されていることが多い。養浜による岩盤生物生息地の埋没によって生じる生物への影響はほとんどわかっていない。岩盤海岸における養浜は砂浜海岸におけるより、より慎重にすべきである¹⁷⁾。

(3) 養浜による地形変化、波浪条件の変化に伴う陸上生物への影響

Looney and Gibson¹⁸⁾, Gibson and Looney¹⁹⁾ は養浜後の陸上部の植生に再生に関して以下のように報告をしている。

- 1) 養浜海岸の海浜部の標高は海浜植生に明確な影響を与える。
- 2) 養浜後形成された海浜の標高が低く平であるとき、海浜の植生再生は遅い。その理由は、海浜は継続的に海水飛沫に晒され、風は海浜上を乾燥させ、高波浪時の遡上波は発芽しつつある植生を根こそぎ洗い流し、あるいは塩分に弱い植生を枯死させる、からである。高波浪時の遡上波は養浜砂の粗い砂粒子を移動させ、海浜の粒度組成を元の

性状に戻す作用があるので、養浜する以前の種が再生する場合もある。

- 3) 自然砂丘の海側に放置された養浜砂の高さが砂丘より高い場合、海水飛沫は阻止され、養浜によって形成される前砂丘と間は植物の発芽に好条件を与えることになり、自然のままでは生じない帯状の植生が形成される。
- 4) 養浜砂の放置計画が不適切な場合、美観的に受け入れ難い植生形態が再生する場合がある。例えば、New Jersey, Sandy Hook において、放置された養浜砂丘の標高が自然バームの標高より高かったため、後浜には単一の アキノキリン草 (*Solidago sempervirens*) のみが再生した。アキノキリン草はこの海岸に元々自生していた種で、砂丘上に再生することが予期されていた種であるが、単一のアキノキリン草の再生はあたかも人工的に植栽したような印象を与え、自然海岸にふさわしくない景観を呈している。合衆国では高潮対策として養浜砂面高を自然海岸より高くする傾向があるが、高潮対策には人工砂丘の使用が勧められる。人工砂丘は海浜、砂丘生物の生育を助ける。

(4) 養浜砂の特性変化による生物環境への影響

海浜の幅を広く、養浜砂の流失を少なくし、養浜の寿命を長くするために粗い養浜砂の使用がしばしば推奨される。粗い砂によって構成されている海岸に砂利が養浜された例がある。養浜砂の粒径がその海岸の波浪条件に平衡している粒径より大きい場合は養浜の寿命を延ばす報告がある^{20) 21)}。養浜砂として粒径の大きい砂を使用すれば、前浜勾配が大きくなり、海浜の性格を逸散型海浜から反射型海浜に変えることになる。その結果として種の数と個体数の減少する²²⁾。養浜砂として使用する砂利の大きさ、形、粒径分布は波や流れに影響する。養浜に使用される砂利の性質によって、その海岸に生育する生物の種類とその量を変えることになる²³⁾。従って、養浜砂として粒径の大きい砂を使用することは、人間の海浜使用目的と生物保全との間の取引、妥協の問題になる。

養浜砂に含まれるシルトや粘土のような微細な土粒子は養浜砂放置時に海水の濁りを増加させるので、問題であると考えられている。微細な粒子は土砂放置後、海岸の性質に影響を与え、結果として海岸の生物と生物生息地の構造に影響を与える。ある有意量の微細土粒子は海浜の水分保持力を変えるし、また砂層の透水性を減じ地下水の流量を減じることになる。もし微細土粒子が層状に形成される場合は、穴を掘って生活する生物にとっては抵抗のある層が形成されたことになる。砂層中に微細土粒子の層が形成されていれば、降雨時に後浜の地表面に池のような滞水域を生じたり²⁴⁾、地表面にガリ侵食を生じ

たりする²⁵⁾。

波や遡上波によって移動する砂層に含まれている微細土粒子は波や流れによって洗い流され、移動する層の粒度分布は元の海浜の粒度分布に近づく。しかし、内湾のような静穏な海岸では、波や流れによって移動する砂層厚さは穴を掘って生息する生物が必要とする深さより小さい場合もある。その一例として、Jackson et al.²⁶⁾ は侵食が進行している養浜された感潮内湾浜の移動砂層厚は甲蟹が産卵する深さより小さい例を報告している。

生物の回復に長期間を要するのは養浜砂と養浜する海岸の砂の粒度特性に相違が大きい時である^{10), 11), 27)}。

最も生物の多様性があり、その量が多かった海浜は砂浜では無くて、砂、砂利、貝殻、玉石の混合層の海浜であるとの調査結果がある²⁸⁾。しかし、通常の養浜工事において、このような適切な混合層に計画することは困難である。養浜砂は波や流れによって移動しやすく、波浪条件に合った粒径に近づこうとする。レクリエーションの目的には粒径の揃った砂が好まれる。しかし、動きの少ない砂利表面に生物の適応を促すために、砂を養浜するのは望ましくない。砂あるいは砂利を養浜するかどうかにかかわらず、養浜材料を他所から持ってくる場合は、養浜材料が生物に与える影響については慎重に評価しなければならない²⁶⁾。

養浜における砂層の変化（砂層の圧密度・せん断抵抗・湿潤度・空気交換度、養浜砂の比重・色、など）は動物の巣の形状、巣の隠匿状態に影響し、結果として動物の巣作り、卵の孵化などに影響を及ぼす。しかし、これ等のうち砂層の圧密度や急勾配は地均しによって軽減あるいは除去できる^{5), 29)}。巣作りの減少は翌年には回復する³⁰⁾。表面に現れない有害な問題もある。例えば、珪酸質（silicates）の海岸にアラゴナイト質（aragonite）の養浜砂を投棄した場合に、海亀の上陸と産卵に適切な砂層が形成されたが、砂層の温度環境に多少の変化があり、孵化した卵の雄雌の割合が変化した例が報告されている³¹⁾。

動物への多くの有害な影響は養浜砂の投棄時期に関係している³²⁾。養浜を必要としている海岸を利用する動物の行動様式を考慮して養浜砂の投棄時期を定める事は出来る。しかし、そうすることにより費用の大幅な増額が必要となる。South Carolina 海岸の Folly Beach での養浜は赤海亀の産卵、孵化の季節を避け、冬季の最も悪天候の時期に施工された³³⁾。

養浜は海浜拡幅による飛砂発生源を拡大し、砂丘と海浜の砂収支の変化（飛砂によって形成される砂丘が高波浪時に侵食され、その後飛砂によって砂丘が回復する現象）をもたらし、海浜の飛砂現象を変える。養浜直後から砂丘の形成と植生の繁茂が始ま

り、数年で低灌木に覆われた低砂丘が形成された事例がある⁹⁾。通常、養浜直後から砂表面に Sorting, Armoring 作用が始まり、内陸側に粒度が小さくなる。内陸植生帯に侵入する飛砂の量と粒度が植生帯に影響を与えた事例がある。養浜砂と養浜海岸の鉱物組成成分が相違し、内陸側に移動した養浜砂が砂丘植物の生育に影響を与えた例がオランダある³⁴⁾。しかし、養浜事例の多いアメリカ合衆国ではこの問題は未だ報告されていない。

5. 正の影響

侵食防止や砂浜回復を目的とする養浜は生態系へ悪影響を与えると考えられている。しかし、適正な養浜事業は生態系の保護、あるいは生態系を保護するための唯一の方法である場合もある。最近、野生生物の生息地確保のために、侵食された海岸への養浜³⁵⁾、あるいは砂浜が侵食されて生物の生息に好ましくない粘土層や泥炭層が露出した海岸に砂浜を回復するための養浜が注目されている。養浜は砂浜を回復し、絶滅の危機に直面している種、例えば浜アマランサス（*Amaranthus pumilus*）、千鳥類（*Charadrius melodus*）、海亀などに生息地を用意し、環境への良い影響を与える^{5), 29)}。しかし、養浜は絶滅の危機に直面している種に対して生育のための条件を改善すると必ずしも断言できない。生態系の損失を最少に利益を最大にするにはかなりの経費増額を必要とする場合も考えられる。養浜は生物に有効な面があることは事実であるが、養浜の生物への悪影響と好影響を量的に評価することは未だ不可能である。

6. まとめ

養浜による環境への悪影響は一時的であると考えられている¹¹⁾。しかし、多くの微妙で複雑な問題についてはほとんどわかっていないのが実情である^{10), 19), 36)}。Lindeman and Snyder³⁷⁾ に拠れば、大規模な養浜施工後の、あるいは種の除去と埋没が繰り返される維持養浜の長期間にわたり累積する影響について根拠のある記述するに早すぎる。環境への影響の有無の限界の確認が問題である。多くの生物に関する研究は養浜による生物種の減少と回復の量的な計測によるものである。生物の増減は微妙な自然条件の変動でも大きく作用する。自然現象としての生物の増減と養浜による生物の増減の限界を見極めることは難しい。養浜による環境の変化と種の変動についての関係はまだ不明である。

養浜を必要とする海岸にはその海岸に特有な条件がある。その特有の条件を考慮することによって養浜による生物環境への影響を最小にすることができると云われている。生物への悪影響を最小にするには、i) 影響を受ける生物種を最小にすること、ii) 養浜海岸の海底に十分な乱さない自然の状態の区域

を残すこと, iii) 養浜によって予期しない問題が生じた時, 問題の緩和策を講じること, iv) 養浜砂の投棄は生物量の最も少ない時期に行うこと³⁷⁾, と言われている。しかし, これらの仮説は必ずしも正当化されているわけではない。それらは根拠のあるデータによって検証されていない。ある地点で得られた結果を他の地点に適用した場合, 予期しない望ましくない問題が発生するような事態も生じる。予期しない有害な生物に関する問題が多くの養浜海岸で発生している。しかし, 侵食防止とレクリエーション利用が, 経済的になされている限りは, 生物に関する問題によって養浜事業が中断されることがないのが, 現在のアメリカ合衆国の実情である。

以上の調査結果から養浜における生物環境の損傷を避ける為の指針をまとめれば次のようになる。

【養浜施工時における生物環境への配慮指針】

- 1) 養浜砂採集区域に生物保護区として浚渫しない区域を残す。
- 2) 浚渫厚さは可能な限り薄くする。
- 3) 養浜砂採集区域として砂洲, 浅瀬が勧められる。
- 4) 生物環境の変化を避けるためには, 可能な限り養浜海岸に類似の粒度組成を持った養浜砂を使用する。
- 5) 養浜計画断面(海浜陸上部の標高と断面勾配)は可能な限り養浜以前の形状にする。
- 6) 岩石海岸への養浜は避ける。
- 7) 生動物群の活動状況を考慮し, 養浜時期を調節する。
- 8) 養浜砂表面は自然の状態に近づける。余分な砂層上下混合, 均し, 過剰転圧を避ける。
- 9) 再養浜は侵食の進行による生物損傷が多くなる前に実施する。
- 10) 養浜施工中, 施工後の生物環境保全の指針を作成しておき, 調査, 監視, 保護手段を講じる。
- 11) 高潮, 津波対策のために海浜部の標高を高めるより人工砂丘を使用する方がよい。
- 12) 緩やかな生物相変化が可能な必要空間(海岸幅)を確保する。
- 13) 安定な生態系を保つために必要な生物種の選定とその保護法を実施する。

以上に加えて,

【より良い養浜をするためには】

- 1) 生物損傷の短期的, 長期的な影響の明確化。
 - 2) 生物種間の損傷程度と回復時の生物間相互作用の明確化。
 - 3) 残す保護区の規模と最適配置の明確化。
- が必要である。しかし, これらについては現時点での明確化は困難である。今後の調査, 研究が待たれる。生物環境問題についての系統的, 量的な研究を行うには長期間の時間と多額の費用を必要とする。

謝辞: 本研究は平成13, 14年度日本大学学術助成金, 国際総合研究「国土侵食防止についての研究」に拠るものである。記して, 著者等は関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Valverde, H.R., Trembanis, A.C. and Pilkey, O.H. : Summary of beach nourishment episodes on the U.S. east coast barrier islands, *Journal of Coastal Research*, Vol.15, pp.1100-1118, 1999.
- 2) Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H.H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A. and Spanhoff, R. : Beach nourishment projects, practices, and objectives – a European overview. *Coastal Engineering*, Vol.47, pp.81-111, 2002.
- 3) Peterson, C.H., Hickerson, D.H.M. and Johnson, G.G. : Short-term consequences of nourishment and bulldozing on the dominant large invertebrates of a sandy beach, *Journal of Coastal Research*, Vol.16, pp.368-378, 2000.
- 4) Nelson, W.G.: Beach restoration in the southeastern US: environmental effects and biological monitoring, *Ocean and Coastal Management*, Vol.19, pp.157-182, 1993
- 5) National Research Council : *Beach Nourishment and Protection*, Washington, DC: National Academy Press, pp.107-126, 1995.
- 6) Roelse, P. Beach and dune nourishment in The Netherlands : *Coastal Engineering: Proceedings of the Twenty-second Coastal Engineering Conference*, New York, American Society of Civil Engineers, pp.1984-1997, 1990.
- 7) Looney, P.B. and Gibson, D.J. : Vegetation monitoring of beach nourishment, In Stauble, D.K. and Kraus, N.C. editors, *Beach Nourishment: Engineering and Management Considerations*, New York: American Society of Civil Engineers, pp.226-241, 1993.
- 8) Löffler, M. and Coosen, J. : Ecological impact of sand replenishment, In Healy, M.G. and Doody, J.P. editors, *Directions in European Coastal Management*, Cardigan, UK: Samara Publishing Ltd, pp.291-299, 1995.
- 9) Nordstrom, K.F. and Mauriello, M.N.: Restoring and maintaining naturally-functioning landforms and biota on intensively developed barrier islands under a no-retreat scenario, *Shore and Beach*, Vol.69(3), pp.19-28, 2001.
- 10) Rakocinski, C.F., Heard, R.W., LeCroy, McLelland, J.A. and Simons, T. : Responses by macrobenthic assemblages to extensive beach restoration at Perdido Key, Florida, U.S.A., *Journal of Coastal Research*, Vol.12, pp.326-353, 1996.
- 11) US Army Corps of Engineers.: *The New York District's Biological Monitoring Program for the Atlantic Coast of New Jersey, Asbury Park to*

- Manasquan Section Beach Erosion Control Project*. Vicksburg, MS: Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station, 2001
- 12) Hobbs, C.H. III. : An investigation of potential consequences of marine mining in shallow water: an example from the mid-Atlantic coast of the United States, *Journal of Coastal Research*, Vol.18, pp.94-101, 2002.
 - 13) Wilber, P. and Stern, M. : A re-examination of infaunal studies that accompany beach nourishment studies, *Proceedings of the 5th Annual Conference on Beach Preservation Technology*, pp.242-257, 1992.
 - 14) Gorzelany, J.F. and Nelson, W.G. : The effects of beach replenishment on the benthos of a sub-tropical Florida beach, *Marine Environmental Research*, Vol.21, pp.75-94, 1987.
 - 15) U.S. Army Corps of Engineers, Baltimore : *Beach Erosion Control Colonial Beach, Virginia: Detailed Project Report*, Baltimore, U.S. Army Corps of Engineers, 1980.
 - 16) U.S. Army Corps of Engineers, Seattle : *Lincoln Park Shoreline Erosion Control Seattle Washington: Final Detailed Project Report and Final Environmental Assessment*, Seattle, U.S. Army Corps of Engineers, 1986.
 - 17) Nelson, W.G. : Beach nourishment and hardbottom habitats: the case for caution, In Tait, L.S. editor, *Proceedings of the 1989 National Conference on Beach Preservation Technology*, Tallahassee, FL: Florida Shore and Beach Preservation Association, pp.109-116, 1989.
 - 18) Looney, P.B. and Gibson, D.J. : Vegetation monitoring of beach nourishment, In Stauble, D.K. and Kraus, N.C. editors, *Beach Nourishment: Engineering and Management Considerations*, New York, American Society of Civil Engineers, pp.226-241, 1993.
 - 19) Gibson, D.J. and Looney, P.B. : Vegetation colonization of dredge spoil on Perdido Key, Florida, *Journal of Coastal Research*, Vol.10, pp.133-143, 1994.
 - 20) Shipman, H. : Beach nourishment on Puget Sound: a review of existing projects and potential applications, *Puget Sound Research 2001*, Washington: Puget Sound Water Quality Action Team, pp.1-8, 2001.
 - 21) Johnson, L., and Bauer, W. : Beach stabilization design, *Coastal Zone '87*, NY: American Society of Civil Engineers, pp.641-661. 1987.
 - 22) McLachlan, A. : Physical factors in benthic ecology: effects of changing sand particle size on beach fauna, *Marine Ecology Progress Series*, Vol.131, pp.205-217, 1996.
 - 23) Williams, G.D. and Thom, R.M. : *Marine and Estuarine Shoreline Modification Issues. White paper*, submitted to Washington Department of Fish and Wildlife, Department of Ecology, 2001.
 - 24) Wright, S. and K.S. Butler. : Land use and economic impacts of a beach nourishment project., *Coastal Zone 83, Post Conference Volume*, Sacramento CA: California State Lands Commission, pp.1-18, 1984.
 - 25) Nordstrom, K.F. : *Beaches and Dunes of Developed Coasts*, Cambridge, Cambridge University Press, 338p, 2000.
 - 26) Jackson, N.L., Nordstrom, K.F. and Smith, D.R. : Geomorphic – Biotic Interactions on Beach Foreshores In Estuaries. *Journal of Coastal Research*, 2002 in press.
 - 27) Reilly, F.J. and Bellis, V.J. : *The ecological impact of beach nourishment with dredged materials on the intertidal zone at Bogue banks, North Carolina*, Miscellaneous Report 83-3. Ft. Belvoir, VA, US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, 1983.
 - 28) Armstrong, J.W., Staude, C.P., Thom, R.M., and Chew, K.K. : Habitats and relative abundances of intertidal macrofauna at five Puget Sound beaches in the Seattle area, *Syesis*, Vol.9, pp.277-290, 1976.
 - 29) Crain, A.D., Bolten, A.B. and Bjorndal, K.A. : Effects of beach nourishment on sea turtles: review and research initiatives, *Restoration Ecology*, Vol.3, pp.95-104, 1995.
 - 30) Rumbold, D.G., Davis, P.W. and Perretta, C. : Estimating the effect of beach nourishment on *Caretta caretta* (loggerhead sea turtle) nesting, *Restoration Ecology*, Vol.9, pp.304-310, 2001.
 - 31) Milton, S.L., Schulman, A.A. and Lutz, P.L. : The effect of beach nourishment with aragonite versus silicate sand on beach temperature and loggerhead sea turtle nesting success, *Journal of Coastal Research*, Vol.13, pp.904-915, 1997.
 - 32) Lawrenz-Miller, S. : Grunion spawning versus beach nourishment: nursery or burial ground, *Coastal Zone 91*, New York, American Society of Civil Engineers, pp.2197-2208, 1991.
 - 33) Edge, B.L., Dowd, M., Dean, R.G. and Johnson, P. : The reconstruction of Folly Beach, *Coastal Engineering: Proceedings of the Twenty-fourth Coastal Engineering Conference*, New York, American Society of Civil Engineers, pp.3491-3506, 1994.
 - 34) van der Wal, D. : Grain-size-selective aeolian sand transport on a nourished beach, *Journal of Coastal Research*, Vol.16, pp.896-908, 2000.
 - 35) Starks, J. : *Reconnaissance assessment of the state of the nearshore ecosystem: eastern shore of central Puget Sound, including Vashon and Maury Islands (WRIAS 8 and 9)*, Seattle, King County Department of Natural Resources, 2001.
 - 36) Gibson, D.J., Ely, J.S. and Looney, P.B. : A Markovian approach to modeling succession on a coastal barrier island following beach nourishment, *Journal of Coastal Research*, Vol.13, pp.831-841, 1997.
 - 37) Lindeman, K.C. and Snyder, D.B. : Nearshore hardbottom fishes of southeast Florida and effects of habitat burial caused by dredging, *Fishery Bulletin*, Vol.97, pp.508-525, 1999.