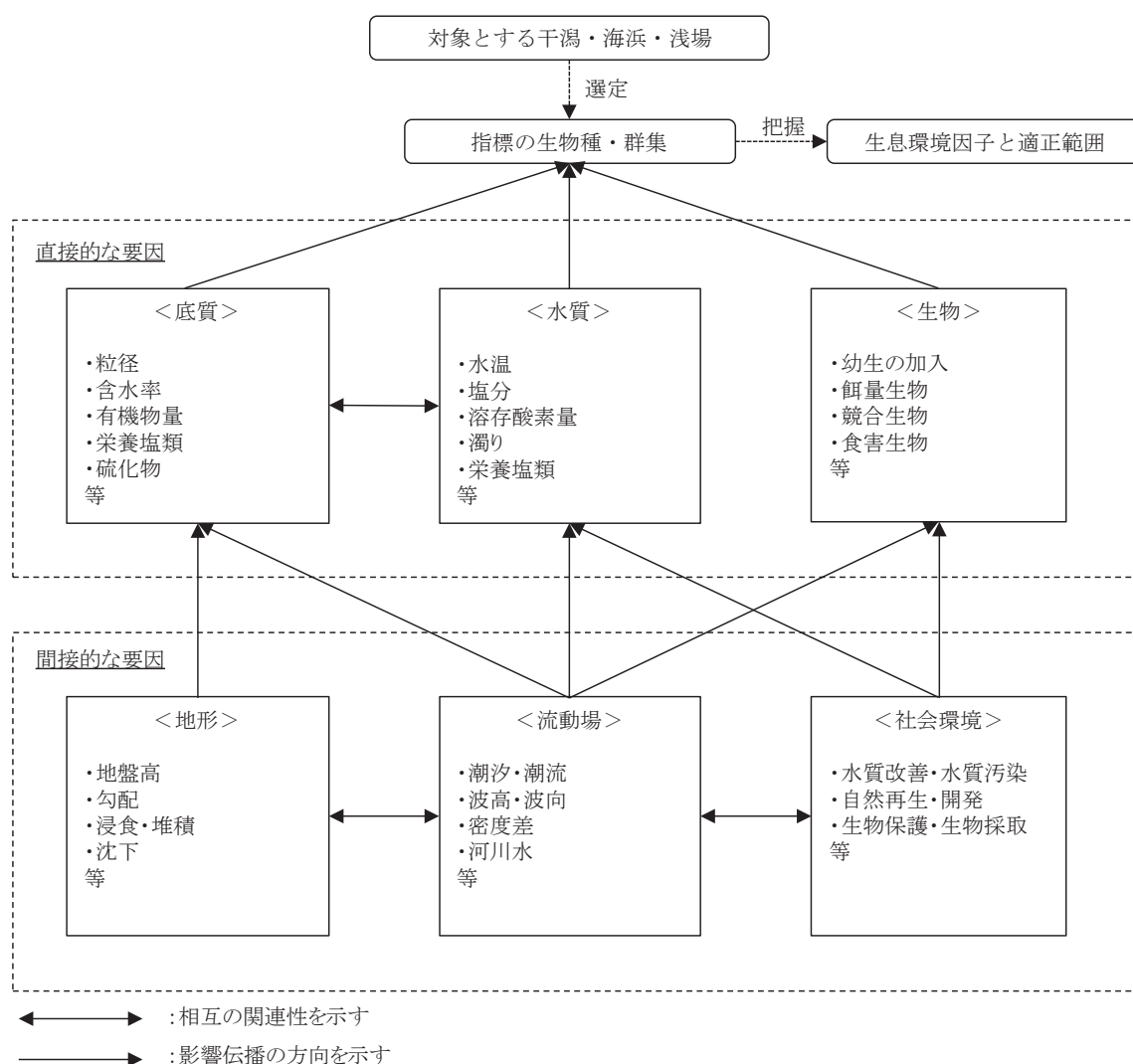


1.4 生態系

沿岸の生態系は、親水性機能、生態系機能（生物生息機能、水質浄化機能、生物生産機能、CO₂吸収機能等）、波浪減衰機能を持ち、それらの機能は物理的・化学的・生物的な過程の中で発現されるものであり、それぞれの複雑な関係性の下で成り立っていて、人為的働きかけによる結果は完全には予想できるものではない。したがってその保全・再生・創出においては、包括的かつ順応的な取り組みが不可欠である⁴⁾。

生態系を特徴づけるものとして、生物と非生物的環境（水底質、流動等）の関係、及び生物間の相互作用がある。また、異なる生態系間の関係性も海域環境を決定づける上で重要である。これらの要素間の複雑な関係性を見据えて全体像の把握に努める必要がある（図－1.4.1）^{4) 5)}。環境への配慮においては、生態系を構成する注目種や群集への影響を考慮し、その生存、生育・繁殖等に影響する環境因子を抽出し、生存、生育・繁殖等の適正範囲を可能な限り定量的に把握する必要がある。



図－1.4.1 生物種・群集に影響する環境因子の伝搬フロー⁶⁾

生態系は、調整・供給・文化の生態系サービス（便益）を供給し、そのサービスの基盤となっているのが多様な生物である（表－1.4.1）。特に海洋生物の多様性については、海洋の生態系サービスの長期的な利用を目的として、平成23年3月に海洋生物多様性保全戦略が策定されている。この中では、海洋の生物多様性が我々の「いのち」と「暮らし」を支えていることが示されている^{6) 7)}。

生態系サービスの中でも、ブルーカーボン生態系がもたらす大気中のCO₂を吸収する調整サービスがパリ協定やカーボンニュートラルポート形成等においてますます重要となっている⁸⁾。また、ジャパンプルーエコノミー技術研究組合(JBE)が公表しているJブルークレジット®認証申請の手引き⁹⁾に掲載されているCO₂吸収量の算定方法論をベースに、ブルーカーボンのクレジット認証事例や取引事例が蓄積されている。

表－1.4.1 生態系サービスの概要

基盤サービス⁷⁾ 基盤サービスは、他のすべての生態系サービスの生産に必要なものである。供給・調整・文化的サービスにおける変化は、人々に直接的で短期の影響を及ぼすのに対して、基盤サービスは、しばしば人々への影響が間接的で、非常に長い期間にわたって現れる。基盤サービスには次のようなものを含んでいる。 土壌形成・光合成・一次生産・栄養塩循環・水循環	供給サービス⁷⁾ 供給サービスは、生態系から得られた生産物であり、次のようなものを含んでいる。 食糧・繊維・燃料・遺伝子資源・化学物質・自然薬品・装飾品の素材・淡水
	調整サービス⁷⁾ 調整サービスは、生態系プロセスの調節から得られた便益であり、次のようなものを含んでいる。 大気質の調整・気候の調整・水の調整・土壌侵食の調整・水の浄化と廃棄物の処理・疫病の予防・病虫害の抑制・花粉媒介・自然災害の防護
	文化的サービス⁷⁾ 文化的サービスは、精神的な質の向上・知的な発達・内省・娯楽・審美的経験を通じて、人々が生態系から得る非物質的な便益であり、次のようなものを含んでいる。 文化的多様性・精神的・宗教的価値・知識体系・教育的価値・インスピレーション・審美的価値・社会的価値・場所の感覚・文化的遺産価値・娯楽とツーリズム

〔参考文献〕

- 1) 海洋調査協会：海洋調査技術マニュアル－水質・底質編－，海洋調査協会，2008。
- 2) 川畑幸夫：水文気象学，地人書館，1961。
- 3) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック，ぎょうせい，2003。
- 4) 国土交通省港湾局監修，海の自然再生ワーキンググループ：順応的管理による海辺の自然再生，環境配慮の標準化のための実践ハンドブック，2007。
- 5) 海洋調査協会：海洋生態系調査マニュアル，2013。
- 6) 古川恵太：沿岸域の環境の保全・再生・創出の目標と、その管理手法を取り巻く最近の状況．沿岸域学会誌，Vol.20，No.1，2007。
- 7) Millennium Ecosystem Assessment：生態系サービスと人類の将来，横浜国立大学21世紀COE翻訳委員会翻訳，オーム社，2007。
- 8) 堀正和，桑江朝比呂：ブルーカーボン－浅海におけるCO₂隔離・貯留とその活用－，地人書館，2017。
- 9) ジャパンプルーエコノミー技術研究組合：Jブルークレジット®認証申請の手引き－ブルーカーボンを活用した気候変動対策－，2024。

2 生物共生型港湾構造物

2.1 一般

生物共生型港湾構造物とは、港湾構造物の基本的な機能を有しながら、生態系機能をあわせ持つ港湾構造物である¹⁾（〔施〕第4章4 生物共生型防波堤、〔施〕第4章14.7 生物共生型護岸、〔施〕第5章2.1.3 生物共生型岸壁、〔施〕第5章5.1.2 生物共生型栈橋）。ここで、生物生息機能とは多様な多数の生物の生息を可能とする機能であり、水質浄化機能とは物理的作用及び生物的作用により海水の浄化を促す機能であり、生物生産機能とは一次生産によって支えられた生物生産の機能であり、CO₂吸収機能とは藻場等のブルーカーボン生態系による大気中のCO₂を吸収する機能である。また、生物共生型港湾構造物は、自然環境が有する多様な機能を活用し持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるグリーンインフラ²⁾及びブルーインフラ³⁾の取組みとして整備することができる。

生物共生型港湾構造物の構造形式として、施設の種類毎に次の3形式がある（図－2.1.1）。

- ①被覆形式
- ②栈橋形式
- ③ケーソン形式

また、生物共生型港湾構造物として付加する生物の生息場の種類によって次の3種類の生息場タイプがある。

- ①砂泥タイプ
- ②礫タイプ
- ③ブロックタイプ
- ④構造物表面タイプ

2.2 構造形式

(1) 被覆形式

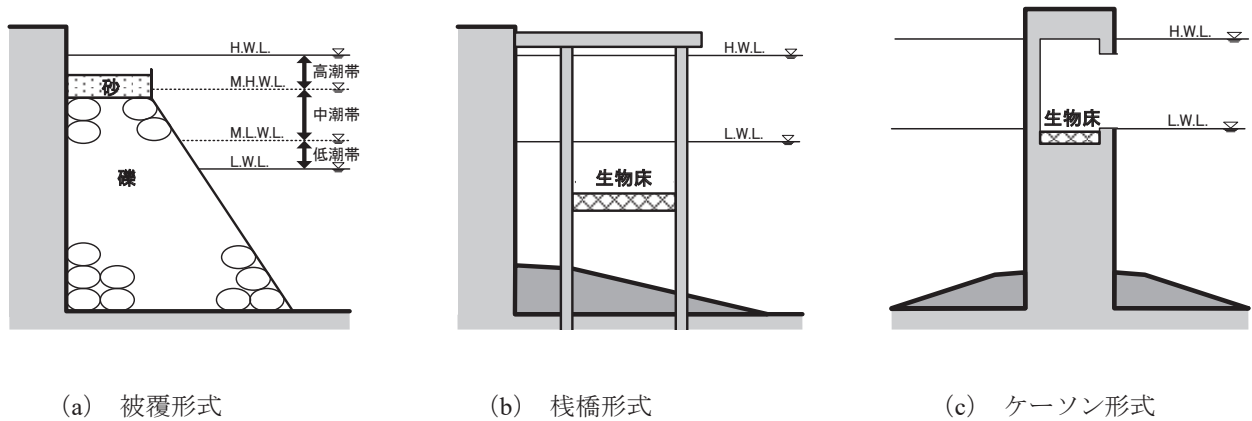
被覆形式は、港湾構造物の前面もしくは防波堤背後に緩傾斜や階段状の構造物を設置し、その表面を砂・礫・ブロック等で覆う構造形式である。生物共生機能を有した緩傾斜堤も被覆形式に分類する。また、構造物表面を加工して構造物形状を変えずに構造物表面の生物の生息機能を向上させる工夫も被覆形式に分類する。

(2) 栈橋形式

栈橋形式は、栈橋下部の空間を利用して海面下に生物床となる床板等を設置した構造形式である。

(3) ケーソン形式

ケーソン形式は、ケーソン本体に生物が着生しやすい構造を工夫することによって生息場を確保する構造形式である。隔室内に生物床を設けること、防波堤では隣り合うケーソンの隙間（目地）の切り欠き幅を広げて通水部を設けること⁴⁾、ケーソン港内側の小段にタイドプールを設けること⁴⁾等の例もある。

図-2.2.1 生物共生型港湾構造物の構造形式¹⁾

2.3 生息場タイプ

生息場タイプは、どの構造形式に対しても次の4タイプから選択して適用できる。生息場タイプの選択は、設置水深、水質、海象及び生息を期待する生物に依存する。

(1) 砂泥タイプ

砂泥タイプは生物の生息場として砂・泥を使用するものである。被覆形式では、生息場を潮間帯に設定すれば干潟となり、潮間帯以深に設定すれば浅場となる。また、栈橋形式及びケーソン形式においても、生物床として砂・泥を用いることによって、干潟または浅場となる。

(2) 礫タイプ

礫タイプは生物の生息場として石材を使用するものである。設置する水深及び環境条件によって、海藻の生育基盤、付着生物の生息場等となる。

(3) ブロックタイプ

ブロックタイプは生物の生息場として藻礁や漁礁等のブロックを使用するものである。ブロックの種類によって海藻の生育基盤、魚類やサンゴ⁴⁾等の動物の生息場等となる。

(4) 構造物表面タイプ

構造物表面タイプは生物の生息場として構造物の表面を活用するものである。構造物表面を凹凸や溝がある表面にすることによって、海藻の生育基盤、付着生物やサンゴ⁴⁾等の動物の生息場等となる。

2.4 海藻の生育基盤の工夫

礫タイプ、ブロックタイプ及び構造物表面タイプに対して、海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫をすることができる^{5) 6)}。

ブロック（根固ブロックや消波ブロック等）においては、稜角、柱の様な突起物、及び空洞部を設ける等の形状の工夫をすることができる。稜角の多い形状は海藻の付着を促進することが期待される。

ブロックや防波堤、護岸等の表面等においては、碎石やブロックのような比較的大きな凹凸、溝、及び多孔質材や人工毛等の微細な粗度や空隙等の表面の工夫をすることができる。凹凸がある表面は、海藻のタネが着底する表面積が増えること、ブロックの近傍の流れが乱れることにより藻場形成の阻害要因である細粒分の堆積が低減されることが期待される。また、ブロックの角や溝の角は海藻の付着を促進することが期待

される。栄養添加は、海藻の成長に必要な栄養塩や鉄、アミノ酸等を基質から溶出する工夫である。

石積・石籠は、天然石や人工石、貝殻等を蛇籠等に入れた構造であり、潜堤や漁礁等に適用できる。この構造は稜角部を増やす工夫であり、海藻のタネが着底する表面積が増え海藻の付着を促進することが期待される。

このように生育基盤の各工夫は期待する効果及び対象とする藻場形成の阻害要因が異なることから、対象とする海藻種及び適用する水域の水質、海象に応じて適した工夫を選択する必要がある。選択に際しては、既往の適用事例や資料等^{5) 6) 7) 8)}を参考にすることができる。

2.5 整備計画

2.5.1 条件の把握

生物共生型港湾構造物は港湾構造物に生態系機能を付加するものであり、港湾構造物の本来の機能を維持することが前提となる。また、船舶の航行・接岸等による利用上の制約等、あらかじめ関連情報を整理しておくことが必要である。

生物共生型港湾構造物の目標は生態系機能を発現させることであり、当該地域の環境に応じた効果的な構造物の検討を行う必要がある。そのためには、対象生物種、生息場タイプ及び詳細形状の検討に際しては、周辺海域の流況・波浪等の物理条件、水質条件及び生物の生息状況等の把握が必要である。また、円滑かつ適正な調整を進めていくためには、地域レベルで求められている海域環境へのニーズを、あらかじめ把握しておくことが重要である。

2.5.2 目標の設定

目標の設定にあたっては、生物共生型港湾構造物の整備によって期待される生態系機能（生物生息機能、水質浄化機能、生物生産機能、CO₂吸収機能等）の中で、重視する機能を決めることから始めることができる。

2.5.3 生息場タイプの候補選定

港湾構造物の構造上の制約及び当該水域の自然条件を踏まえ、生物共生型港湾構造物に期待する機能及びその機能を発現する生態系を構成する生物を水深帯別に選定し、波浪や流れ、水質、光等の条件を考慮してその生物に適切な生息場タイプの候補を選定することが必要である（表－2.5.1）。

表-2.5.1 期待する機能及び機能を発現する生態系を構成する生物に応じた生息場タイプ選定のための主な条件及び生息場タイプ

生物共生型港湾構造物に期待する機能	水深帯	機能を発現する生態系を構成する生物	生息場タイプ選定のための主な条件	生息場タイプ
生物生息機能 (多様な多数の生物の生息を可能とする機能)	潮間帯	植物(ヨシ、ハマツナ等) 動物(ゴカイ類、アナジャコ等)	①比較的静穏な海域であること(砂の流出を招くような波浪や流れの影響が小さいところ) ②懸濁物の堆積が懸念されるような流れの滞留しやすい水域ではないこと	砂泥タイプ
		藻類(アオサ類、ヒジキ等) 動物(ウスヒザラガイ、タマキビ等)	③貧酸素や河川出水等の影響が小さく、生物生息に適した豊富な溶存酸素濃度が見込めること ④藻場の形成を期待する場合は、海藻類の生育に適した光条件(光量・透明度)や塩分が見込めること	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
	潮間帯 以深	植物(アマモ等) 動物(イシガレイ、ガザミ等)	①比較的静穏な海域であること(砂の流出を招くような波浪や流れの影響が小さいところ) ②懸濁物の堆積が懸念されるような流れの滞留しやすい水域ではないこと	砂泥タイプ
		藻類(コンブ、カジメ、ホンダワラ等) 動物(サンゴ、カサゴ、ヒメヒトデ等)	③貧酸素や河川出水等の影響が小さく、生物生息に適した豊富な溶存酸素濃度が見込めること ④藻場の形成を期待する場合は、海藻類の生育に適した光条件(光量・透明度)や塩分が見込めること	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
水質浄化機能 (物理的作用及び生物的作用により海水の浄化を促す機能)	潮間帯	植物(ヨシ、コアマモ等) 動物(アサリ、シオフキ等)	上記①、②と同じ	砂泥タイプ
		藻類(アオサ類、ヒジキ等) 動物(カキ、カンザシゴカイ、シロスジフジツボ等)	上記③、④と同じ	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
	潮間帯 以深	植物(アマモ等) 動物(サルボオ等)	上記①、②と同じ	砂泥タイプ
		藻類(コンブ、カジメ、ホンダワラ等) 動物(サンゴ等)	上記③、④と同じ	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
生物生産機能 (一次生産によって支えられた生物生産の機能)	潮間帯	動物(アサリ等)	上記①、②と同じ	砂泥タイプ
		動物(タマキビ、イソガニ等)	上記③、④と同じ	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
	潮間帯 以深	動物(ヒラメ、クルマエビ等)	上記①、②と同じ	砂泥タイプ
		動物(アワビ、ムラサキウニ等)	上記③、④と同じ	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
CO ₂ 吸収機能 (藻場等のブルーカーボン生態系による大気中のCO ₂ を吸収する機能)	潮間帯	植物(コアマモ、ヨシ等)	上記①、②と同じ	砂泥タイプ
		藻類(アオサ類、ヒジキ等)	上記③、④と同じ	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ
	潮間帯 以深	植物(アマモ等)	上記①、②と同じ	砂泥タイプ
		藻類(コンブ、カジメ、ホンダワラ等)	上記③、④と同じ	礫タイプ ブロックタイプ 構造物表面タイプ

2.5.4 機能の有効性に関する分析

生物共生型港湾構造物の整備の目標として設定した機能の有効性について予め分析することもできる。ただし、生態系機能の有効性は生育する生物量にも依存し、その生物量の予測は不確実性が高いことに留意する必要がある。

例えば生物共生型港湾構造物等の整備によって、藻場等のブルーカーボン生態系によるCO₂吸収機能の発現を目標として設定する場合、ジャパブルーエコノミー技術研究組合(JBE)が公表している「Jブルークレジット®認証申請の手引⁹⁾」を活用しCO₂吸収量の推計をすることができる。具体的な推計方法は、整備する生物共生型港湾構造物等において、CO₂吸収機能を持つ藻場等の生息が期待できる条件(水深や構造等)を有する箇所の面積を、生育が期待される海藻・海草毎に算定し、それに海藻・海草毎のCO₂吸収係数を乗じてCO₂吸収量を試算する。

〈CO₂吸収量の推計式(年間)〉

(藻場) CO₂吸収量 (t-CO₂/年) = 藻場等の面積 (ha) × CO₂吸収係 (t-CO₂/ha/年)

CO₂吸収係数については「Jブルークレジット®認証申請の手引⁹⁾」及び「海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック¹⁰⁾」を参考にできる。なお、このCO₂吸収量推計に関する考え方は生物共生型港湾構造物のみならず、海浜として整備される生態系にも適用できる。ただし、垂直護岸やブロック等の壁面に繁茂した藻場を対象としてCO₂吸収量を推計する際には、投影面積では不十分であり、接地面積にCO₂吸収係数を乗じてCO₂吸収量を試算することができる。

試算事例として、釧路港や須崎港では、防波堤背後の浅場を活用した藻場創出を行っており、創出した藻場のCO₂吸収量計算^{11) 12)}や生物共生型防波堤の整備計画全体の期待されるCO₂吸収量を試算¹³⁾している。また、藻場面積の計測手法として近年はドローンによる計測も進んでいる¹⁴⁾。

【参考文献】

- 1) 国土交通省港湾局：生物共生型港湾構造物の整備・維持管理に関するガイドライン，2014。
- 2) 国土形成計画(全国計画)，2015。 <https://www.mlit.go.jp/common/001100233.pdf>
- 3) 国土交通省港湾局：港湾の開発、利用及び保全並びに開発保全航路の開発に関する基本方針，2024， <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001735866.pdf>
- 4) Tanaya, T., Kinjo, N., Okada, W., Yasuda, M., & Kuwae, T. (2021). Improvement of the coral growth and cost-effectiveness of hybrid infrastructure by an innovative breakwater design in Naha Port, Okinawa, Japan. *Coastal Engineering Journal*, 63 (3), 248-262. <https://doi.org/10.1080/21664250.2021.1889823>
- 5) 岡田知也，秋山吉寛，内藤了二：海藻種・環境条件を考慮した着生・成長を促す生育基盤の工夫の重要性に関する考察，国総研資料，1257，2023。
- 6) 岡田知也，玉上和範，秋山吉寛，内藤了二：港内・港外における海藻の生育基盤の工夫の効果に関する検討，国総研資料，1295，2024。
- 7) 水産庁：第3版 磯焼け対策ガイドライン，p247，2022， https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/index.html
- 8) 一般社団法人 寒地港湾技術センター：寒冷地における沿岸構造物の環境調和ガイドライン，株式会社アイワード，p176，2017。
- 9) ジャパブルーエコノミー技術研究組合：Jブルークレジット®認証申請の手引きーブルーカーボンを活用した気候変動対策ー，2024。
- 10) 国立研究開発法人水産研究・教育機構：海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック，2023。
- 11) 水木健太郎，阿部寿，酒向章哲：釧路港におけるブルーカーボンに着目した調査及び考察について，第66回(2022年度)北海道開発技術研究発表会，2023。
- 12) 山本也実，高野航，本松敬一郎：コンブ漁場におけるブルーカーボン貯留評価の試み，第66回(2022年度)北海道開発技術研究発表会，2023。
- 13) 国土交通省：プレスリリース「「みなと」で海の森が創出！～須崎港で藻場が創出。生きものの生息場、CO₂吸収源として期待！～」，2022。
- 14) 吉田光寿，渡辺謙太，源平慶，伴野雅之，棚谷灯子，茂木博匡，桑江朝比呂：グリーンレーザースキャナ搭載UAVによる海藻藻場の計測手法の検討。土木学会論文集，80 (17)，24-17235，2024。