

# CAD/CAMシステムによる海底地形のモデリングとNC加工

青森職業能力開発短期大学校 成田 敏明  
職業能力開発大学校 小林 崇

Modeling and NC Machine Processing of a Topographical Map of the Sea Bottom by CAD/CAM System

Toshiaki NARITA, Takashi KOBAYASHI

**要約** 青森県では、好漁場を求めて県近海の海底地形図（メッシュデータ）を超音波計測によって計画的に作成している。これらのデータは、漁業振興に役立てるべく海底マップとして関係機関に配布される。県から海底地形図をもとに縮小モデルの製作依頼があった。

本報では、パーソナルコンピュータ上に構築されたメッシュデータをCADシステムの載ったEWSにファイル転送し、さらにこれをカスタマイズ言語で作成した開発コマンドを使ってCADシステム上に再構築した。メッシュデータをもとにした自由曲面のモデリングでは、既報の岩木山の縮小モデルにおける手法を参考にして、B-spline曲線の次数およびスケールを検討し曲面を生成した。縮小モデルのNC加工は、EWSのメモリ容量を超えるデータ量および簡易工作機の加工範囲の制限を考慮して、被加工物を6つの領域に分けて行った。製作した縮小モデルによって、2次元の等深線で表された海図あるいはメッシュデータからは判読しにくい海底地形の詳細な様子が明らかになり、CAD/CAMシステムの有用性が示された。

## 1 はじめに

青森県では、好漁場として可能性の高い漁礁を求めて、計画的に県近海の海底地形を超音波によって計測している。この計測データは、漁業振興に役立てるべく立体地図（メッシュデータ）として作成され、漁業関係機関に配布されている<sup>1)2)</sup>。昨年11月、県より実際に触れることのできる製作物として海底地形縮小モデルを加工できないかとの依頼があった。筆者らは、これまでに等高線データから山の縮小モデルの加工<sup>3)</sup>を行ったことがあり、これを参考に検討を加えた。岩木山のモデリングでは、入力装置として図面読取り装置を用い、等高線データを読み取りCAD上に構築し、等高線データからマニュアル操作によってメッシュデータを作成した。マニュアル操作回数は、メッシュデータの総格子点数が2400点にも及んだため、1万回を超え誤操作も生じた。モデリング期間は、検討時間を

入れると1ヶ月を要した。

本報では、提供されたメッシュデータファイル（MS-DOS）を本学のCAD/CAMシステム（UNIX）に取り込み、カスタマイズ言語<sup>4)5)</sup>（PPL:Parametric Programming Language）で開発したコマンドによりB-splineサーフェスを生成した。開発コマンドを使用したB-splineサーフェス生成までの過程は、岩木山の縮小モデルと比較してモデリング時間および操作性などの点で大幅に省力化され、モデリング時の誤入力もなくなり信頼性が高まった。また自由曲面の生成では、B-spline曲線の次数と自由曲面のモデリングスケールを検討し、NC加工によって海底地形縮小モデルの製作を行った。製作した海底地形縮小モデルは、2次元の等深線で表された海図あるいはメッシュデータからは判読しにくい海底地形の詳細な様子が明らかになるとともに、CAD/CAMシステムの有用性が示されたので報告する。

## II 開発コマンドと自由曲面生成までの流れ

提供されたメッシュデータファイルは、超音波計測によって得られたオリジナルデータファイルからパーソナルコンピュータの演算処理によって作成され、MS-DOSのバイナリー形式で記憶されている。このファイルをネットワークコマンドftp (file transfer protocol) によりバイナリー形式のデータファイルとしてCAD/CAMシステムのEWS (UNIX) 上に取り込む。そのデータ項目は、作成日付、作成時刻、経度、緯度、深度 (Z)、その他となっている。メッシュの格子点は、X、Y、Zの座標値で示されている。格子間距離は計測時に決定され、X、Y座標ともに24mである。このため、開発コマンドによって3次元CAD上でB-splineサーフェスを生成する際には、経度及び緯度のデータ項目は使用していない。格子点列のX座標値は、 $X_1, X_1+24, X_1+24 \times 2(m) \dots$ で表現し、Y座標値も同様に表す。深度のZ座標値は、4バイト (32bit) で格納されており、取り込みにあつ

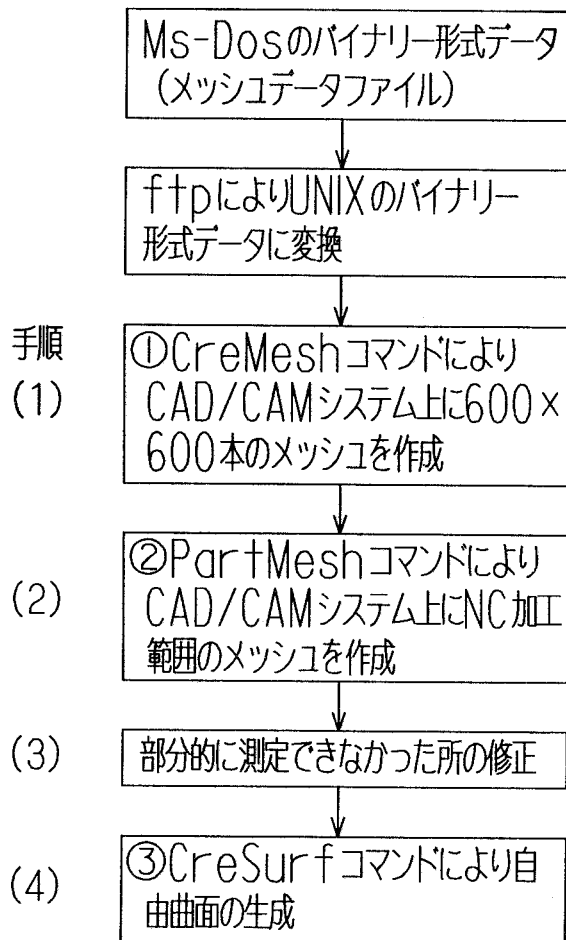


図1 自由曲面生成までの流れ

ては、例えば[80 77 00 00]の場合[00 00 77 80]と逆順に並べ替え、 $16^7 \times 0 + 16^6 \times 0 + 16^5 \times 0 + 16^4 \times 0 + 16^3 \times 7 + 16^2 \times 7 + 16^1 \times 8 + 16^0 \times 0 = 30592cm$ のように10進数に変換し、さらに305.92mとした。

開発コマンドは、対話式でCADシステムの対話領域を見ながら作業を進めることができる。以下PPLによる開発コマンドの動作とメッシュデータから自由曲面生成までの流れを示す (図1)。

(1) 開発コマンド①CreMeshを用いて、EWS上のメッシュデータを基に、縦横それぞれ600本のLine String (折線) で表された深度 (Z) 情報を有するメッシュをCAD上に構築する (図2)。メッシュの格子

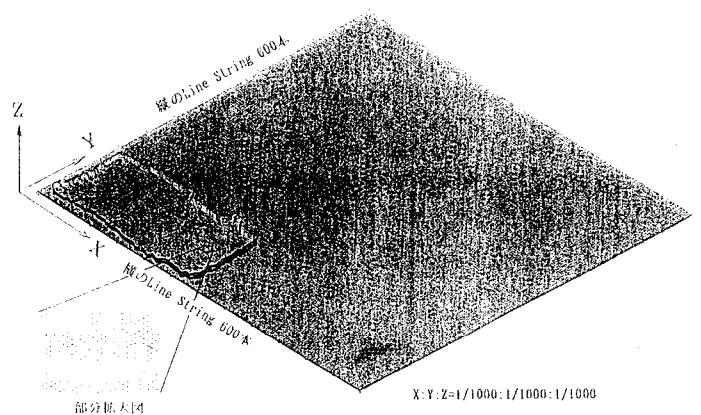


図2 CAD上に表示されたメッシュデータ

点が縦と横の折線の頂点である。ここで、CAD/CAMシステムの機能 (図形要素に番号・記号を付与する機能) を使って、縦横のLine StringにそれぞれV1~V600、H1~H600の番号を与えた。これらの番号は、CAD上のコマンドでLine Stringに対して処理を施すとき、管面上の対話領域に表示される。この時点で、スケールはCADシステム側で設定している1/1000になり、メッシュの格子点間距離は、24mから24mmになる。

(2) (1)で作成したメッシュから縮小モデルを加工するために必要な範囲の部分メッシュを作成する。抽出したい部分メッシュの範囲を縦と横のLine String番号で確認し、これをキー入力して開発コマンド②PartMeshにより図3に示すような部分メッシュを作成する。

(3) 図3の抽出した部分メッシュには、一部にノイズ (計測できずに海面と同じ高さで表示された箇所) が含まれる。図4(a)にノイズ部分の拡大図を示す。このため、ノイズ部分の前後の平均深度を通るように

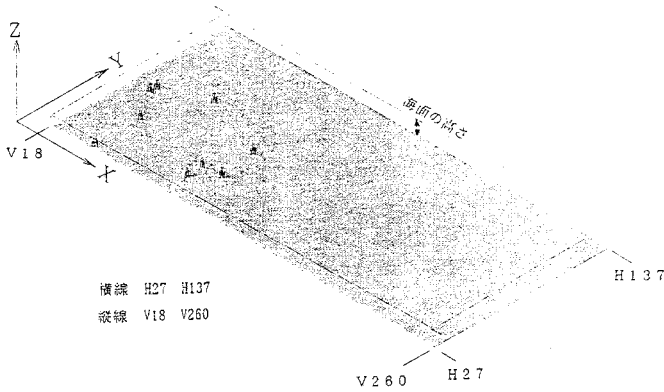


図3 抽出した部分メッシュ

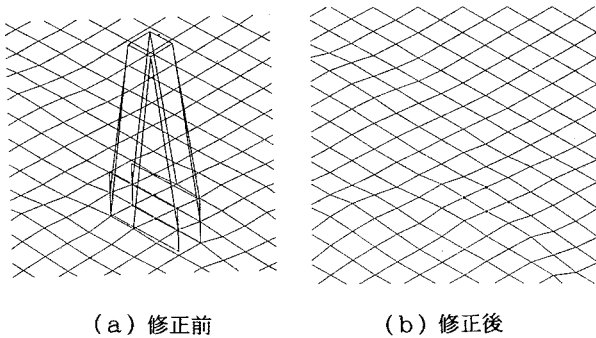


図4 縦と横のLine Stringの修正

Line Stringを修正した (図4(b)).

(4) 海底地形の自由曲面は、(3)で修正した部分メッシュを開発コマンド③CreSurfにより縦と横のLine Stringのエレメント本数をキー入力することで生成する。

以上(1)から(4)の手順で①から③のコマンドにより海底の必要な範囲の自由曲面を生成する。また①から③のコマンドは、管面メニューに配置し、マウスによるコマンド選択あるいはキー入力のいずれの方法でも起動するようにした。

### III 自由曲面のモデリング次数とスケール

自由曲面には、B-splineサーフェスを用いた。曲面のモデリング次数は、曲面の基となるB-spline曲線の次数による形状の違いを比較検討し決めた<sup>16)7)</sup>。図5は、B-spline曲線の次数の違いによる形状変化お

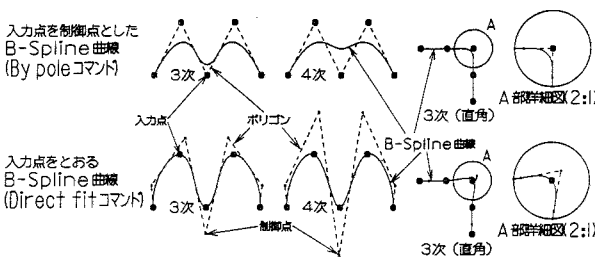


図5 コマンドと次数の違いによるB-spline曲線の比較

よび曲線の生成コマンドの相違による形状の変化を示したものである。図中の入力点は、3次、4次ともそれぞれ同間隔である。これらの入力点は、メッシュデータの縦と横のLine Stringの端点あるいは頂点(座標点)に相当する。By poleコマンドによる曲線の変化は、次数が高くなると凹凸が緩やかとなる。Direct fitコマンドによる曲線の変化は、入力点前後のふくらみにおいて多少変化する程度であるが曲線を制御する制御点とポリゴンが大きく変化している。曲線の凹凸の変化は、定義上入力点をとるDirect fitコマンドで描いた方が一般的に大きい、入力点が直角に配列した場合と比較すると拡大した詳細図で示すように頂点付近にふくらみが生じる。これは垂直に切り立つ崖のような所はこのふくらみにより加工できない部分が生じることを示している。一方By poleコマンドによる曲線の直角部分は、頂点をとらないため実際の入力点より低くなる。このようにそれぞれのコマンドによるB-spline曲線には特徴があり、このことを認識した上で使用する必要がある。本課題の目的は、海底地形図の根(漁礁)の位置と形状のNC加工にあるためBy poleコマンドを用いた。また入力点をとる曲線にできるだけ近づけるため次数を3次として曲面を生成した<sup>3)</sup>。

NC加工用自由曲面のスケールは、 $X:Y:Z=1/10000:1/10000:1/2500$ としている。Z方向のモデリング倍率は、加工素材の厚さの制限からX・Y方向に対し4倍とした。その結果モデリングの大きさは、X方向が580.5mm(実際は5.805km)、Y方向が264mm(同2.64km)、Z方向の計測データは、最浅値130m、最深値317mであり、その差は74.8mm(同187m)となる(図6)。

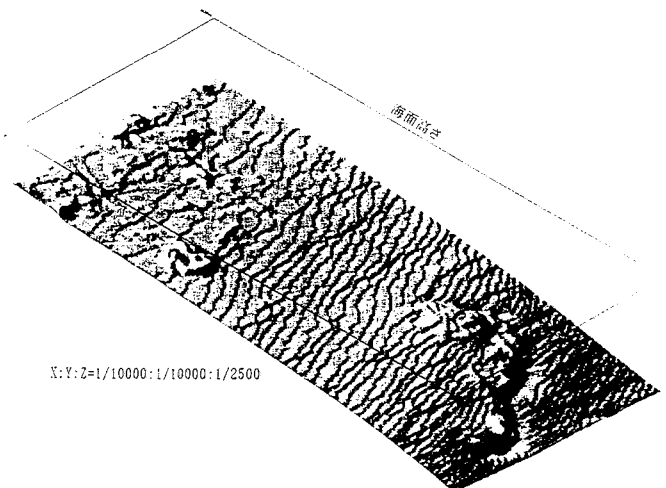


図6 NC加工用自由曲面

#### IV NC加工の諸条件

図6に示す自由曲面は、データ量が多いためツールパス（荒・仕）作成時にメモリ容量の制限をうけること、またNC工作機械（MiniMiller）の切削許容範囲を超えることなどの理由により自由曲面のX方向を3分割、Y方向を2分割し、計6個の自由曲面に対してツールパスを作成した。モデルを6分割した場合に問題となる自由曲面境界の段差は、以下のような工夫で解消した。図7に6分割した自由曲面と加工素材および加工原点の位置関係を示す。

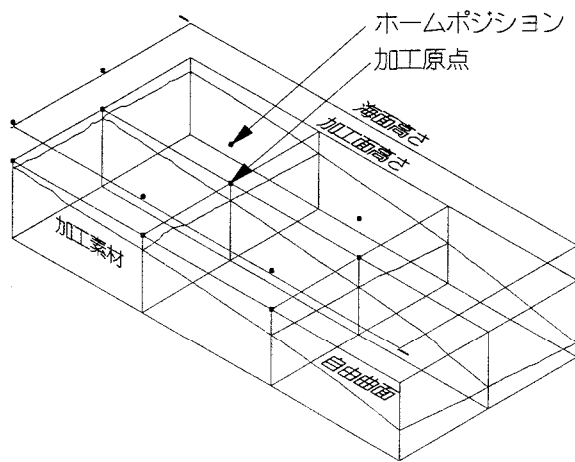
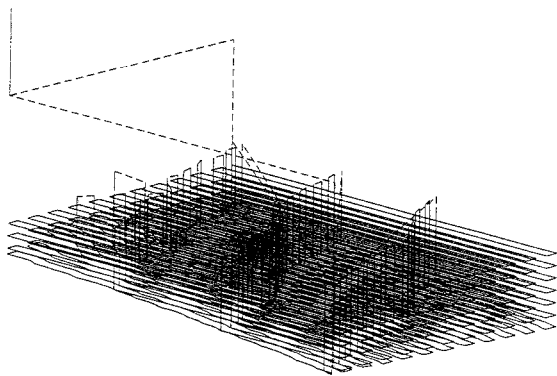


図7 分割した自由曲面と加工原点

加工素材の取り付けは、図8に示すような真空ポンプによる大気圧を利用した自作のジグによって行った。その構造は、ジグ上面に加工素材が0.05mmのすきまではまり合うよう深さ1mm、さらに加工素材が接触する面周囲と素材変形を防ぐための支えを残して



(a) 荒加工のツールパス

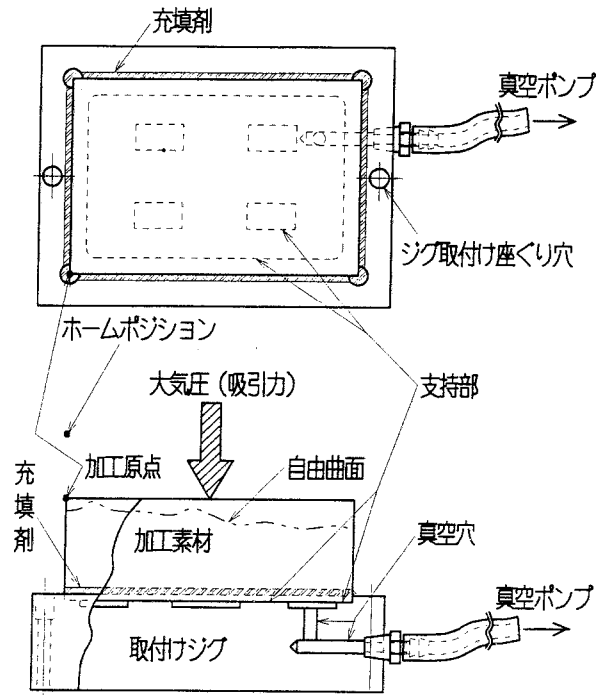
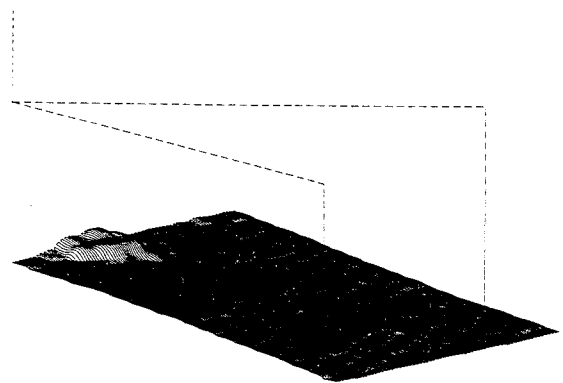


図8 真空ポンプを利用したジグ

深さ1mm加工した。この面に真空ポンプで吸引する穴をあけた。加工素材の吸引は、空気漏れのないように市販のシリコン製充填材を図8のように塗布した。真空ポンプジグのZ方向からみた加工素材投影面積は、約255cm<sup>2</sup>である。その吸引力は、大気圧を約1kgf/cm<sup>2</sup>すると約255kgfとなる。真空ポンプジグの吸引力は、加工素材が切削抵抗の小さいプラスチックであるため、直径12mmフラットエンドミルの切削抵抗に対して充分耐えられることを確認している\*。また真空ポンプジグによって6分割した自由曲面境界の段差は、加工原点およびホームポジションをそれぞれ



(b) 仕上げ加工のツールパス

図9 分割面に出力したツールパス例

図7および図8のように設定することで生じない。

図9に荒加工と仕上げ加工のツールパス例を示す。荒加工は、直径12mmのフラットエンドミルを使用しパス送りピッチは、Y軸方向が6mm、Z軸方向が6mmである。仕上げ加工は、直径6mmのボールエンドミルを使用しその仕上げしろ (stock) は、X軸、Y軸、Z軸とも1mmである。仕上げ加工のパス送りピッチは1mm、そのスカラブハイトは0.042mmとなる。海底に20mの高さの根があった場合、製作物の高さは8mmである。またスカラブハイトは、実際の高さに変換すると0.105mとなる。20mの根に対しスカラブハイトの割合は、0.525%である。ツールパスデータ量は、テープ長にして荒加工で合計6.5km、仕上げ加工で合計25.3kmとなる。加工諸条件を表1に示す。

表1 加工諸条件

材料:プラスチック (サイコウツ)	エンドミル	ツールパス		主軸回転数	加工時間
		作成時間	送り速度		
素材大きさ (1個) X:93.5mm Y:32mm Z:100mm	荒加工 φ12mm フラット エンドミル	平均 90分	400 mm/min	2500 rpm	平均 100分
	仕上げ 加工 φ6mm ボール エンドミル	平均 60分	200 mm/min	4500 rpm	平均 120分

これらの加工条件により製作した海底地形の縮小モデルを図10に示す。

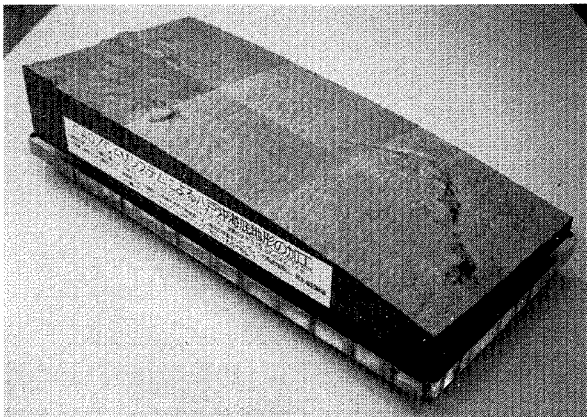


図10 製作した海底地形縮小モデル

## V まとめ

既報では、等高線データを基にモデリングからNC加工までマニュアル操作によって縮小モデルを製作した。これらの流れの中で多くの時間を費やしたのは、3次元化した等高線データからメッシュを作成する部分である。本報では、メッシュデータファイルからCADデータとして取り込む開発コマンドの作成に数カ

月費やした。しかし、海底地形のモデリングは、この開発コマンドを使用することによって数時間で仕上がりが誤操作の入る余地がなくなった。

以下まとめを示す。

- (1)PPLにより開発したカスタマイズコマンド CreMesh、PartMesh、CreSurfは、データのマニュアル的な入力<sup>3)</sup>と比較して大幅な省力化を実現し、誤入力を無くした。
- (2)自由曲面の次数は、NC加工を考慮し、By poleコマンドの3次とした。
- (3)地形データのようにデータ量の多い自由曲面は、加工回数が多くなるものの分割加工することでメモリ容量による制限を緩和できる。
- (4)Z方向のモデリング倍率は、加工素材の厚さに影響されるが今回はX方向、Y方向に対し4倍とした。
- (5)真空ポンプジグは、分割した自由曲面の段差をなくするため加工素材がNC工作機械の可動範囲を超えた時に有効である。

## VI おわりに

本報告では、人工衛星によるマクロ的な地形や潜水艇などによるミクロ的な部分地形の中間を補完する超音波という目による地形データの可視化および製作を行った。コンピュータによる圧力・気圧・応力等の目に見えない計測データは、CAD/CAMシステムと結びつくことによって実際に目で見、触れることのできる教材として製作が可能と考える。

製作した海底地形縮小モデルは、北緯40°42'、東経141°56'付近の八戸沖である。漁業関係者が目で見、手で触れた結果と経験的に得た漁場とどのように関連するのか興味深い。

今回海底地形縮小モデルの製作にあたり、計測データの提供をしていただいた県の漁政課ならびに県水産試験場総括主任研究員の松宮隆志氏に感謝申し上げます。またカスタマイズ言語によるコマンドの作成にご協力いただいた日本インターグラフ社の田中芳生氏ならびに光本雅宏氏の両氏に感謝申し上げます。

## [参考文献]

- (1)東奥日報、ゆうかんにしひがし「海底地形をデータ処理」、1995年9月21日
- (2)青森県水産商工観光労働委員会、海底マップづくり調査計画、1996年5月、参考資料

- (3)成田敏明、池田正儀、小林崇、CAD/CAMシステムによる岩木山のモデル加工、職業能力開発報文誌、通巻7号、1992年、P73-76
- (4)日本インターグラフ株式会社、PPLリファレンスマニュアル、1995年
- (5)日本インターグラフ株式会社、PPLユーザーズガイド、1995年
- (6)日本図学会編、CGハンドブック、森北出版株式会社、1989年、P87-90
- (7)安田仁彦、CAD/CAM/CAE入門、オーム社、1992年、P69-71
- (8)駒井恵子、3次元CAD/CAMシステムによる立体物加工-切削抵抗の検出と真空ポンプ治具の設計製作-、青森職業能力開発短期大学校卒業論文、1996年