透視図ベースの 3DCG モデリングによる図学教育

安福 健祐 Kensuke YASUFUKU

阿部 浩和 Hirokazu ABE

概要:本研究は、インタラクティブな操作が可能な 3DCG を図学教育に利用し、図学初学者に図法幾何学の理解向上を促すことを目的としている。本稿では、その一手法として、3次元物体の図形操作と、その投影面上の図形操作を、CG ソフトウェア SketchUp の透視図上で交互に行い、図法幾何学の課題の作図手順を提示する方法を提案する。その結果、点・直線・平面の作図および 2 平面の交線、平面に対する直線の相貫点を求める課題は、SketchUp の推定機能を使うことで、透視図ベースによる作図が可能であることを示し、その提示方法が、83%の受講生にとってわかりやすいことを明らかにした。

キーワード:CG/図学教育

1. 序

近年の 3D-CAD/CG ツールの一層の普及が、図学教育に影響を与えているが、3D-CAD/CG の基礎となる図法幾何学は依然として重要といわれている^[1]。図法幾何学を理解するためには、3次元物体と2次元の投影図の関係性を理解する必要がある。図学初学者に対しては、手書きのスケッチ、CG、模型等を提示して、その関係性を理解させようとする事例が見られる。そのような提示方法の中で、特に CG を用いる場合は、インタラクティブな形状操作や、ワイヤーフレーム表示・サーフェイス表示といった多彩な表現が可能となっている。本研究は、インタラクティブな操作が可能な CG ソフトウェアを図学教育に導入し、図学初学者に対して、図法幾何学の理解向上を促すことを目的としている。

一方、CG ソフトウェアは多種多様であり、その性能や特性によって提示方法は異なってくる。またそれに伴い図法幾何学の理解を促す効果に差が生じることが予測される。CG ソフトウェアで3次元物体の形状を操作する場合、多くのソフトウェアの操作画面は、3面図(正面図・側面図・上面図)に透視図を加えた4画面に分割されており、複数の投影図で物体を操作しながら、透視図で形状を確

認することが多い。ただし、ソフトウェアによっては、1画面で3次元の物体を操作することが可能なインターフェイスを備えているものもある。

本稿では、3次元物体の図形操作と、その投影面上の図形操作を、CG ソフトウェアの透視図上で交互に行い、図法幾何学の課題の作図手順を提示する方法を提案する。そのための CG ソフトウェアには、Google SketchUp[®](以下、SketchUp)を利用し、透視図ベースの操作を可能にするために、同ソフトウェアの推定機能(interface engine)を用いた場合の有用性と問題点について考察する。

2. 方法

2.1. 透視図ベースのモデリング

透視図ベースのモデリングとは、CG ソフトウェアで描かれる透視図を入力画面として、3次元物体の作成・形状操作を行うことをいう。このとき表示画面は単一の画面で、透視図以外の投影図は表示されない。平面図、立面図などの様々な方向から見た図を提示するのは、透視図の視点を連続的に平行移動・回転移動させて行う。本稿では、このような透視図ベースのモデリングによって、図法幾何学の課題の解説を行う。

透視図ベースのモデリングにより、図法幾何学の課題の解説するとき、その特徴は、3次元空間上に直交する2つの平面を水平面、直立面として作成し、3次元物体の操作と、その物体の水平面および直立面の投影面上の図形操作を透視図上で交互に行うことである。3次元物体と2次元の投影図の関係性を同一画面上で可視化することで、図学初学者の理解向上を促すことが、本手法の狙いである。

2.2. CG ソフトウェア SketchUp

CG ソフトウェアの透視図ベースで3次元物体の形状を正確に操作するためには、3次元的なスナップ機

能を有している必要がある。本稿で用いる SketchUp は、推定機能と呼ばれる 3 次元的なスナップ機能を有しており、それによって透視図ベースで 3 次元物体の操作が可能である。推定機能は、マウスカーソル付近にある特定の点が、色分けされて表示されるもので、表 1 にその種類を示す。例えば、直線の端点、中点、交点をはじめ、直線に垂直な線、面上の任意の点、エッジ上の任意の点等がスナップできる。また、文字入力時にもスナップ機能が有効となり、3 次元の位置に文字を配置できる。図 1 が SketchUp の透視図上に水平面と直立面を描いた画面である。

表 1 SketchUp の推定機能

推定機能	解説
端点	線または円弧の端部を緑色で示す。
中点	線の中点を水色で示す。
交点	線が別の線または面と交差する点を黒色で示す。
面上	面上にある点を青色で示す。
エッジ上	線上にある点を赤色で示す。
エッジ上	接続された 2 本の線の間にマゼンタの線が表示されたときに、等距離点 (面取) を示す。
等距離	
半円	円弧の描画中、正確に半円が描かれた時点で示す。

図 1 SketchUp による透視図ベースのモデリング

2.3. 図法幾何学の課題事例

表 2 に示す図法幾何学の課題に対して、透視図ベースのモデリングにより、3 次元物体の図形操作と、その投影面上の図形操作を交互に行うことで、その解答の解説を行う。ここで取り上げた課題は、大阪大学共通教育の講義で使用しているテキスト^[3]から抜粋したものである。

表 2 課題事例

1. 点Aの作図	2. 直線ABの作図
3. 平面Tの作図	4. 2平面の交線の作図
5. 平面T1に対する直線ABの相貫 (補助平面法)	6. 平面T1に対する直線ABの相貫 (副投影法)

2.4. 調査対象

透視図ベースのモデリングにより、表 2 の課題解説を大阪大学共通教育 1 年生 72 名に対して行い、解説のわかりやすさのアンケート調査を実施する。アンケート内容は、解説に対して「とてもわかりやすい」「わかりやすい」「どちらともいえない」「わかりにくい」「とてもわかりにくい」の 5 段階に加えて、自由記述の意見とする。対象者は既に当該課題内容は習っており、2007 年 10 月 22 日に、復習問題として実施したものである。

3. 結果と考察

3.1. 点の作図

透視図ベースのモデリングにより、空間上の点 A、水平面への投影 a、直立面への投影 a' を作図する手順を表 3 に示す。手順としては、空間上の点 A を作図してから、点の正投影 a、a' を作図するのと、点の正投影 a、a' を作図してから、空間上の点 A を作図する手順が考えられる。前者の場合は、空間上の点 A の作図で、スナップ可能な 3 次元上の点が存在しないため、任意の場所に点 A を作図することは難しい。これは透視図ベースのモデリングの 1 つの制限となる。そのた

め、ここでは後者の方法を取り、任意の水平面上の点 a と、直立面上の点 a' を、面上推定等で求めてから、空間上の点 A を作図する手順とする。その結果を図 2 に示す。

また、作図する上で SketchUp 特有の仕様がある。1 つは点線の表示方法である。水平面上の点と直立面上の点の対応線のように、点線で作図する必要がある場合は、SketchUp では、View 設定の中の、「Hide Geometry」設定を有効しておき、作成した線(Line)を「Hide」状態に設定にすることで、その線が点線で表示される。また、作図上、線を追加していく途中で、複数の線 (Line) で閉じた状態ができたとき、その閉じた部分に面が自動的に生成される。この面が作図上で不要な場合は、その都度、面を削除する操作が必要となる。後者の仕様は、作図手順を提示する上では、分かりにくくなる要因の 1 つである。

表 3 点 A の透視図ベースの作図手順

作図対象		作図条件		推定機能
水平面上	直線 a a0	始点	水平面上の任意の点	面上推定
		方向	y 軸に平行	軸上推定
		終点	GL 線上の点	エッジ上推定
直立面上	直線 a0 a'	始点	点a0	端点推定
		方向	z 軸に平行	軸上推定
		終点	直立面上の任意の点	面上推定
空間上	直線 a A	始点	点a	端点推定
		方向	z 軸に平行	軸上推定
		終点	点a'を通りy軸に平行な直線との交点	点から軸方向推定
空間上	直線 A a'	始点	点A	端点推定
		終点	点a'	端点推定

図 2 点 A の透視図ベースの作図結果

3.2. 直線の作図

視図ベースのモデリングにより、空間上の直線 AB、

水平面への投影 ab、直立面への投影 a' b' を作図する手順を表 4 に示す。手順としては、前項の点の作図方法により、空間上の 2 点 AB とその正投影を作図する。次に水平面上の 2 点 ab と、直立面上の 2 点 a' b' および空間上の 2 点 AB を、端点推定機能により直線で結ぶ、その結果を図 3 に示す。

図 3 の結果から、空間上の直線とその正投影が同一画面に表示されているため、直線の実長や水平傾角は水平面における直線の長さ、傾きとは異なっていること等が解説できる。また、どのような作図により正投影上で直線の実長と水平傾角が求められるかを示唆するような画面提示にもなっていると考えられる(図 3)。

表 4 直線 AB の透視図ベースの作図手順

作図対象		作図条件		推定機能
点A , a , a'		表1の手順による		
点B, b, b'		表1の手順により		
水平面上	直線 a b	始点	点a	端点推定
		終点	点b	端点推定
直立面上	直線 a' b'	始点	点a'	端点推定
		終点	点b'	端点推定
空間上	直線 A B	始点	点A	端点推定
		終点	点B	端点推定

図 3 直線 AB の透視図ベースの作図結果

3.3. 平面の作図

透視図ベースのモデリングにより、空間上の平面 T と、水平跡線 t、直立跡線 t' を作図する手順を表 5 に示す。手順としては、水平跡線 t と直立跡線 t' を、面上推定機能を用いて作図し、空間上に水平跡線と直立跡線を 2 辺とした平行四辺形を空間上に作成する。その結果を図 4 に示す。

図 4 の結果から、空間上の平面 T とその水平跡線 t、

直立跡線 t' が同一画面上で表示されているため、平面の実形、開角が、正投影における平面の形、跡線の傾きとは異なっていることが解説できる。また図4下は、平面Tと水平面に直交する平面を作図し、SketchUpの機能により、その断面図を3次元的に表示したもので、平面の水平傾角が、直立跡線の傾きとは異なっていることが解説できる。また、どのような作図で、正投影上の平面の実形、開角、水平傾角が求められるかを示唆する画面提示になっていると考えられる。

表5 平面Tの透視図ベースの作図手順

作図対象	作図条件	推定機能
水平面上	直線 t (水平跡線) 始点 水平面上の任意の点	面上推定
	終点 GL線上の任意の点	エッジ上推定
直立面上	直線 t' (直立跡線) 始点 直立面上の任意の点	端点推定
	終点 直線 t の終点	面上推定
空間上	直線 始点 直線 t の始点	端点推定
	方向 直線 t' に平行	エッジに平行推定
	終点 直線 t' の始点を通り直線 t に平行な直線との交点	点から軸方向推定
空間上	直線 始点 直線 t' の始点	端点推定
	方向 直線 t に平行	エッジに平行推定
	終点 直線 t の始点を通り直線 t' に平行な直線との交点	点から軸方向推定

図4 平面Tの透視図ベースの作図結果

3.4. 2 平面の交線の作図

透視図ベースのモデリングにより、平面T1と平面T2の交線ABを作図する手順を表6に示す。手順としては、表5の平面の作図方法により2つの平面T1、T2を作成し、その平面の交線ABを端点推定機能により作成する。そして、直線ABを水平面および直立面に投影し、直線Abおよび直線Ba'を作成する。その結果を図5に示す。

図5上では、投影図が平面によって見えなくなるが、平面の表示・非表示を切り替えることで図5下のように表すことができる。

表6 交線の透視図ベースの作図手順

作図対象	作図条件	推定機能
平面T1, t_1, t'_1	表5の手順による	
平面T2, t_2, t'_2	表5の手順による	
空間上	直線 A B (2平面の交線) 始点 直線 t_1, t_2 の交点	端点推定
	終点 直線 t'_1 と t'_2 の交点	端点推定
直立面上	直線 B b 始点 点B	端点推定
	方向 z軸に平行	軸上推定
水平面上	直線 A a 始点 点A	端点推定
	方向 y軸に平行	軸上推定
直立面上	直線 B a' 始点 点B	端点推定
	終点 点a'	端点推定

図5 2平面の交線の透視図ベースの作図結果

表 7 補助平面法による透視図ベースの作図手順

作図対象		作図条件		推定機能
平面T1, t1, t'1		表5の手順による		
直線AB, ab, a'b'		表4の手順による		
水平面上	直線 t2 (水平跡線)	始点	点b	端点推定
		方向	直線abに平行	エッジに平行推定
		終点	GL線上の点	エッジ上推定
直立面上	直線 t'2 (直立跡線)	始点	直線t2の終点	端点推定
		方向	Z軸に平行	軸上推定
		終点	直立面上の任意の点	面上推定
平面T2		水平跡線t2, 直立跡線t'2として表5の手順による		
直線CD, cd, c'd'		表6の手順により、平面T1と平面T2の交線		
空間上	直線 P p	始点	直線ABと直線CDの交点	端点推定
		方向	Z軸に平行	軸上推定
		終点	水平面上の点	面上推定
空間上	直線 P p'	始点	直線ABと直線CDの交点	端点推定
		方向	Y軸に平行	軸上推定
		終点	直立面上の点	面上推定

表 8 副投影法による透視図ベースの作図手順

作図対象		作図条件		推定機能
平面T1, t1, t'1		表5の手順による		
直線AB, ab, a'b'		表4の手順による		
水平面上	直線 t2 (水平跡線)	始点	水平面上の任意の点	面上推定
		方向	直線t1に垂直	エッジに垂直推定
		終点	GL線上の点	エッジ上推定
直立面上	直線 t'2 (直立跡線)	始点	直線t2の終点	端点推定
		方向	Y軸に平行	軸上推定
		終点	直立面上の点	面上推定
平面T2		水平跡線t2, 直立跡線t'2として表5の手順による		
空間上	直線 A a''	始点	点A	面上推定
		方向	平面T2に垂直	軸上推定※
		終点	平面T2上の点	面上推定
空間上	直線 B b''	始点	点B	端点推定
		方向	平面T2に垂直	軸上推定※
		終点	平面T2上の点	面上推定
水平面上	直線 a''b'' (直線ABの副投影)	始点	点a''	端点推定
		終点	点b''	端点推定
直線t'1		表6の手順により、平面T1と平面T2の交線		
空間上	直線 p''P	始点	直線a''b''と直線t'1の交点	端点推定
		方向	平面T2に垂直	軸上推定※
		終点	直線ABとの交点	エッジ上推定
空間上	直線 P p	始点	既存の点P	端点推定
		方向	Z軸に平行	軸上推定
		終点	水平面上の点	面上推定
空間上	直線 P p'	始点	既存の点P	端点推定
		方向	Y軸に平行	軸上推定
		終点	直立面上の点	面上推定

※YZ平面と平面T2が平行になるように軸(Axis)を変更してから行う

3.5. 平面に対する直線の相貫点の作図

透視図ベースのモデリングにより、平面 T1 に対する直線 AB の相貫点 P を作図するために、補助平面法を用いた手順を表 7、副投影法を用いた手順を表 8 に示す。

3.5.1. 補助平面法による作図

補助平面法による平面 T1 に対する直線 AB の相貫点 P の作図手順としては、平面 T1 を表 5 の手順により、直線 AB を表 4 の手順により作図する。次に、直線 AB を面内に含み、水平面に垂直な平面 T2（補助平面）を作成し、表 6 の手順で平面 T1 と平面 T2 の交線 CD を作図する。空間上で、平面 T1 に対する直線 AB の相貫点 P は、直線 AB と直線 CD の交点となり、直立面上でも、直線 a' b' と直線 c' d' の交点によって、相貫点 p' 求めることが提示できる。その結果を図 6－1 に示す。

3.5.2. 副投影法による作図

副投影法による平面 T1 に対する直線 AB の相貫点 P の作図手順としては、平面 T1 を表 5 の手順により、直線 AB を表 4 の手順により作図する。次に、平面 T1 が線视图 t'' 1 となる副投影面（副立面図）T2 を作成し、直線 AB を副投影面に投影した直線 a'' b'' を作図する。このとき直線 t'' 1 と直線 a'' b'' の交点が相貫点 P の副投影 p'' となる。点 p'' から空間上の点 P、水平面上の点 p、直立面上の点 p' が順次求まる。

図 6 平面に対する直線の相貫点の透視図ベースの作図結果(上:補助平面法 下:副投影法)

3.6. アンケート結果

3.1 から 3.5 の作図結果を基に、透視図ベースのモデリングによる課題解説後のアンケート結果を図 7 に示す。

図 7 透視図ベースの解説に対するアンケート結果

グラフから、「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」が全体の 83%を占めており、この解説方法が大半の受講生にとってわかりやすいものになっている。また、自由記述の意見の中では、「CG が無いと全くわからないので、この形式で授業して下さい」という意見もみられた。しかし一方で、「見ている時はわかりやすいが、その後は印象に残りにくい」、「ノートが取りにくい」等の意見もあり、いくつかの問題点も明らかになった。今後、このような意見を参考に、途中のイメージをプリントアウトして配布する等の方法を試みる予定である。

4. 結論

本稿は、CG ソフトウェア SketchUp の透視図ベースで、3次元物体の図形操作とその投影面上の図形操作を交互に行い、図法幾何学の基本課題の解答手順を提示することで、以下の結果を得た。

1. 図法幾何学の基本要素となる点・直線・平面の作図および2平面の交線、平面に対する直線の相貫点を求める課題は、SketchUp の推定機能を使うことで、透視図ベースによる作図が可能である。
2. 空間上の任意の点は、SketchUp の推定機能が使え

ないため、マウスで正確に作図することができない。

3. SketchUp は、閉じた線に対して自動的に面が貼られるため、その機能が作図手順を提示する上で障害となる。
4. 透視図ベースのモデリングによる図法幾何学の課題解説の結果、受講生の 83%がわかりやすいと回答した。
5. 透視図ベースのモデリングによる図法幾何学の課題解説の結果、受講生の一部からは「見ている時はわかりやすいが、その後は印象に残りにくい」、「ノートが取りにくい」という意見があった。

以上より、SketchUp を利用した透視図ベースのモデリングにより図学の作図手順を提示する手法は、仕様上の制限や、受講生がノートを取りづらい等の意見があるものの、わかりやすいという意見が大半であることから、有効な方法の1つであることを示した。今後、さらに多くの課題提示方法を確立するとともに、試験の成績結果から、その有用性を検証すること、学生が SketchUp を使用して課題を解くことで、その理解度が向上するかの検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 加藤道夫, “CG/CAD 時代の図学”, 図学研究 第 41 巻, pp.1-3
- [2] <http://sketchup.google.com/>
- [3] <http://www-dg.setc.wani.osaka-u.ac.jp/zub1/text/index.htm>

著者紹介

やすふく けんすけ:大阪大学サイバーメディアセンター
あべ ひろかず:大阪大学サイバーメディアセンター
560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-16