3次元コンピュータグラフィック機能を使った建築環境工学教育支援ツール-Keity-の開発とインターネットを介しての公開

DEVELOPING AND RELEASING KEITY, EDUCATIONAL TOOL FOR ARCHITECTURAL ENVIRONMENT ENGINEERING USING 3 DIMENSIONAL COMPUTER GRAPHICS

笠原信一 ——*1 山崎 均 ——*2

キーワード：
コンピュータソフトウェア、インターネット、教育支援ツール、3次元コンピュータグラフィックス、日照、日影時間

Keywords：
Computer software, Internet, Educational tool, 3 dimensional computer graphics, Sunshine, Shadow duration

Shinichi KASAHARA ——*1 Hitoshi YAMAZAKI ——*2

Authors are developing a software tool, Keity, that is an educational tool for undergraduate students to start studying architectural environment engineering smoothly, and opening it to the public through internet. This paper reports purpose to develop Keity, outline of the system, and major algorithm of program function.

Currently textbook is the main educational tool, but computer software will become important tool for education as spread of computer in the school. Through developing Keity, we aim at proof of possibility of software as educational tool.

1. はじめに

著者らは建築環境工学の教育支援を目的としたソフトウェアツール Keity を開発し、ホームページで一般に公開を始めた。本報告は、Keity システムの開発目的やシステム概要を報告すると共に、主要なプログラムの計算処理アルゴリズムについても触れる。

Keity は、建築環境工学に接する大学学部生がスムーズに専門分野に入っていくための導入教育支援ツールとして開発しているソフトウェアである。従って、内容は研究色の強い先端的なものではなく、日照、熱、換気、照明、音といった建築環境工学全般にわたる基本的な事項をわかりやすく解説することを目標にしている。現在は、教育の教材としては、書籍や教官独自の講義ノートが一般的であるが、これからのコンピュータ教育の普及に伴い、教材としてのコンピュータプログラムの役割は重要になっていく。Keity の開発を通して、教育ツールとしてのプログラムの有効性、可能性を実証していきたい。

Keity の公開にはインターネットを活用している。現在は情報公開の手段は書籍や論文発表が主要な方法であるが、これらは個人で手軽に発信できるものではない。さらに、出版までの膨大な時間経過による情報の陳腐化、発信された情報の更新や修正などのメンテナンスの困難さ、といった問題もある。これに対し、今日のインターネットの普及は情報伝達の方法を根本から変革している。Keity の公開では、インターネットの有効性を最大限に活かし、個人での柔軟な運営、情報の迅速な更新、ユーザーからの意見収集、情報の個別発信と一斉発信、などを実現している。

建築環境工学に関わるコンピュータソフトウェアをインターネッ

ト経由で広く配信し、研究成果を共有しようとする試みは、すでにいくつかの研究室で始まっており、例えば谷本ら[1][2]の実例がある。また、建築学会伝熱 WG では、各研究者が個人レベルで公開しているソフトウェア資産をライブラリ化して公開するポータルサイト[3]構築の活動も行われている。本活動は、これらの一連の流れに沿ったものである。

2. ツール開発の方針

Keity は、入門者を対象に建築環境工学の基本的な事項をわかりやすく直感的に表現することを開発方針としている。特に、建築環境工学では、太陽の軌跡、照度分布、音の伝播、.....といったように、3次元空間を扱うテーマが数多くある。これらを解説するために従来は図面が使われており、例えば、太陽の天球上での移動の様子は図1のように解説されるが、3次元の現象を2次元の図面で解説す

図1 図による解説例[5]

図2 3次元CGによる解説例

*1 関東学院大学大学院工学研究科 博士後期課程・芸術工修(鹿島建設㈱)
(〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1)

*2 関東学院大学工学部 教授・工博

*1 Doctoral Candidate, Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ., M. Design (Kajima Corporation)

*2 Prof., College of Engineering, Kanto Gakuin Univ., Dr. Eng.

るのはわかりづらい。Keity では、3 次元の現象を 3 次元のまま理解する手段としてコンピュータグラフィックス (CG) を活用している (図 2)。また、図面の場合は、複数の情報を同じ図に一度に盛り込む情報過多がわかりにくさの原因になる (図 1)。プログラムでは、一度に一つの情報だけを表示し (図 2)、他の情報 (他の月日の状態) は対話的な図形の変化によって表現させられる事が、理解を助ける要因でもある。

操作面では、手軽に操作できるよう、対話的な操作とリアルタイムな応答に開発の重点を置いており、基本的にマウスの動きだけで操作ができるように工夫されている。例えば、マウスの右ボタンの動きによって、3 次元のモデルがリアルタイムに回転し、あらゆる方向からモデルを見ることができる。また、マウスの左ボタンの動きによって、各変数 (緯度、月日、時刻など) の値が変化し、それに合わせてモデルがリアルタイムに変化するようにになっている。

なお、Keity のプログラム群は、画面周りやマウスなどの操作部分は Microsoft Visual C++および MFC ライブラリによって、3 次元図形表示部分は OpenGL によってコーディングされており、Windows の OS 環境で稼動する。MAC 環境では稼動しない。

3. ツール発信の方法

Keity は、図 3 のサイト [4] を開設して公開されており、このホームページは、Keity の機能紹介、ダウンロード、操作方法説明 (操作マニュアル)、関連ホームページ、で構成されている。

ユーザーは、ホームページ上でユーザー情報 (名前、メールアドレスなど) を入力した後、プログラムをダウンロードすることができる。入力されたユーザー情報はサーバーに登録され、利用状況の把握の資料にすると共に、バージョンアップなどの情報の連絡に使われる。ホームページで公開された情報が活用されるためには、ユーザーの訪問を待つだけでなく、頻繁にこちらから情報を発信することが重要である。この情報連絡のために、登録されたユーザーへ一斉に E メールを発信するしくみを備えている。

また、情報の発信には、同様の趣旨で公開されているサイトと相

互リンクを張り、横の連携を図ることも重要である。建築環境工学関連のプログラムをホームページで公開されている研究室にはコンタクトを取り、今後、相互リンクを整備していく。

Keity はまだ開発を開始したばかりで、現在のところは機能が少ないが、利用者の声を聞きながら、今後、順次機能を追加公開し充実させていく。インターネットの特性を生かすためにも、最終形が完成した段階で公開するのではなく、まず Keity というプログラム発信のフレームワークを構築し、時間をかけて育てていく、という運営方針である。

4. ツールの機能

図 4 プログラムメニュー

Keity は、最終的には建築環境工学の日照、熱、換気、照明、音といった分野全般の基本技術を網羅することを目指しているが、現在公開の第一バージョンは、日照分野のプログラムのみの構成となっている。

Keity を起動すると、図 4 のメニュー画面が現れ、このメニューから以下の各プログラムが起動される。

「天球上の太陽の軌跡」: 天球上の太陽の位置を表示するプログラム (図 5)。時刻、月日、緯度をマウスで変化させることにより、太陽軌道や太陽位置がリアルタイムに動く。季節による太陽軌道の変化や、緯度による太陽軌道の違いを理解することができる。

「建物モデリング」: 以下の「日影の形状」、「日影時間の分布」、「日影の時間帯」プログラムに共通で使用する建物モデルを作成するプログラム。建物の平面形状をマウスでクリックした後、高さを入力して形状定義する。

「日影の形状」: 上記で作成した建物モデルが周辺地面に及ぼす日影の形状を表示する日影検討の基本プログラム (図 7)。時刻、月日、緯度をマウスで変化させることにより、日影形状がリアルタイムに動き、日影の変化の様子が理解できる。

「日影時間の分布」: 上記で作成した建物モデルが周辺地面に及ぼす日影の一日の時間合計をコンターで表示する日影検討の基本プログラム (図 8)。月日、緯度をマウスで変化させることにより、日影時間コンターの形状がリアルタイムに変化する。

「日影の時間帯」: 太陽の 1 日の軌跡と建物を透視図で表現することによって、上記で作成した建物モデルが周辺地面のある地点で影になる時間帯とその合計時間を表示するプログラム (図 9)。月日、緯度、地点をマウスで変化させることにより、太陽軌道がリアルタイムに変化し、時間帯とその合計時間が変化する。右の平面図には計算位置が点で表示されており、マウスでその計算点を動かすと、それに連動して左の透視画面が更新される。建物のどの部分が影を発生させているかを視覚的に理解することができる。

「ひさしの効果」: ひさしと窓の関係から室内に入る日射を表示するプログラム (図 6)。窓形状、ひさしの深さ、方位、時刻、月日、緯度をマウスで変化させることにより、室内に生じる影の形状がリアルタイムに変化する。任意の方向の窓から室内に入る日射が、ひさ

図 3 Keity の Web サイト

しによってどの程度遮断されるかを理解することができる。

図5 天球上の太陽の軌跡

図6 ひさしの効果

図7 日影の形状

図8 日影時間の分布

図9 日影の時間帯

5. 日影時間帯計算のアルゴリズム

これらのプログラム群を開発する上での主要なコーディング部分は、一つは、マウスの動きに連動したりリアルタイムな図形の変化などのGUI（グラフィックユーザーインターフェース）であるが、一方、計算アルゴリズムの面では、「日影時間の分布」プログラムや「日影の時間帯」プログラムで使われている日影時間算出アルゴリズムが主要部分である。日影時間プログラムは多数開発され日影検討に

不可欠のツールになっているが、そのアルゴリズム全体を紹介した文献は筆者の知る限り見当たらず、日影時間算出のアルゴリズムについてここで明らかにすることは意味があると考えるので、以下で解説する。

日影時間算出のアルゴリズムは、日影境界時刻算出のステップと日影区間時間集計のステップで構成される。

5.1 日影境界時刻の算出

日影境界時刻算出のステップとは、計算地点から建物を見た時の建物のエッジと太陽軌道との交点での時刻（境界時刻）を求めるプロセスである。境界時刻を境にして日影時間帯と日当たり時間帯が切り替わる。この日影境界時刻の計算式は、山崎の論文[6]に詳細に展開されており、ここでは結論の式のみを紹介する。

ある年月日における太陽の視赤緯を δ 、検討地域の緯度を ϕ とし、建物のエッジの両端座標を $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ とする。ただし、エッジの座標値は、計算点を原点とし、南を Y 軸正方向、西を X 軸正方向に設定した座標系での値とする。このエッジと太陽が交差する時の時角 t は(1)式で求められる。

$$t = \gamma \pm \cos^{-1}(-C_3/C_1 \cos \gamma) \quad (1)$$

$$\text{ただし、} \gamma = \tan^{-1}(C_2/C_1) \quad (2)$$

ここで

$$u = x_2 y_1 - x_1 y_2 \quad (3)$$

$$v = y_2 z_1 - y_1 z_2 \quad (4)$$

$$w = z_2 x_1 - z_1 x_2 \quad (5)$$

$$C_1 = u \cdot \cos \delta \cdot \cos \phi + w \cdot \cos \delta \cdot \sin \phi \quad (6)$$

$$C_2 = v \cdot \cos \delta \quad (7)$$

$$C_3 = (u \cdot \sin \phi - w \cdot \cos \phi) \cdot \sin \delta \quad (8)$$

である。(1)式で求められる交点は、建物エッジの両端点を通る直線と太陽軌道との交点であるために、二つの交点が得られる。そこで、エッジが有限長さであることを考慮して、線分外の交点をはじく処理を行う。エッジ上の点の媒介変数 m を

$$m = (z_s \cdot x_1 - x_s \cdot z_1) / (x_s(z_2 - z_1) - z_s(x_2 - x_1)) \quad (9)$$

で求め、 $m < 0.0$ または $1.0 < m$ の場合に、その点が線分外であると判定できる。ここで、 $S(x_s, y_s, z_s)$ は、交点での太陽位置ベクトルであり、(1)式で求めた交点の時角 t を使って、以下で求める。

$$x_s = \cos \delta \cdot \sin t \quad (10)$$

$$y_s = \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos t - \sin \delta \cdot \cos \phi \quad (11)$$

$$z_s = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos t + \sin \delta \cdot \sin \phi \quad (12)$$

ただし、(9)式は、建物エッジが Y 軸（南北軸）に平行（つまり両端点座標値が $z_1 = z_2$ かつ $x_1 = x_2$ ）の場合に、分母が 0 となり計算不能になる。分母が 0 にならないよう、状況に応じて以下の式を使い分ける必要がある。分母が 0 にならない状況では、(9)式、(13)式、(14)式のいずれを使っても結果は同じである。

$$m = (x_s \cdot y_1 - y_s \cdot x_1) / (y_s(x_2 - x_1) - x_s(y_2 - y_1)) \quad (13)$$

$$m = (y_s \cdot z_1 - z_s \cdot y_1) / (z_s(y_2 - y_1) - y_s(z_2 - z_1)) \quad (14)$$

5.2 日影区間時間の集計

建物が複数あり計算点から重なって見える場合は、各建物ごとの時間区間の和集合を求める必要がある。日影区間時間集計のステップでは、和集合を求めるために、地面および各建物エッジごとに求

めた境界時刻を時刻順に並び替え、境界時刻で区切られた区間ごとに影か日当たりかを判定する。最後に、日影の区間の時間を合計すれば日影時間が得られる。区間ごとの影か日当たりかの判定は、区間の中点と建物形状との内外判定によって行う事ができる。区間の中点が建物の中にあれば、その区間は日影時間帯であると判定する。

図 10 の例では、境界時間は、各建物エッジおよび地面に対して、 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8$ が得られ、 $t_7-t_1-t_2-t_5-t_3-t_4-t_6-t_8$ の順に並び替えた後、各区間ごとの内外判定をした結果、 $t_1-t_2, t_5-t_3, t_3-t_4, t_4-t_6$ の区間が日影時間帯として得られる。

図 10 日影境界時間帯の和集合

6. 等高線作図のアルゴリズム

等高線は、ここでは日影時間の表示に使っているが、照度分布、温度分布、圧力分布...といったように、格子上に計算されたコンピュータの計算結果を表示する手段として汎用的に利用される。等高線をコンピュータで作図する処理の概要と注意点について紹介する。

等高線は、隣接する 4 つの格子点で構成される矩形単位で作画する。図 11 に等高線作図の基本を示す。4 辺のうち、両端点の値が等高線値をまたぐ辺について、両端点の値を線形補間して等高線値の辺内部の位置を求める。格子間隔が十分に小さい場合、通常は図 11 のように 4 辺のうちの 2 辺でのみ等高線との交点があるので、その 2 点を結べばよいが、まれに、4 辺すべてで交点が存在する場合 (図 12) もあり、この場合はどの点と点を結べばよいかわからない。

図 11 等高線作図の基本

図 12 4 辺で等高線が交差する場合

この問題は、格子の中央に追加の計算点を設けることによって解決できる。中央点で追加の計算を行い、その値と等高線値を比較する事によって、図 13 と図 14 のように、結ぶべき点が決まる。つまり、中央点と各格子点を結んだ補助線のうち、端点の値が等高線値より両方とも大きいとか両方とも小さい補助線 (図 13、図 14 の点線) を取り出し、その補助線と等高線が交差しないように、等高線を結べばよい。

図 13 中央点での値が高い場合

図 14 中央点での値が低い場合

7. あとがき

Keity は、現在はまだ機能が少なく有効性は限られているが、今後の機能増殖に従い、強力な教育支援ツールとして貢献する事をめざす。その基盤の整備として本報告を行った。

プログラムを広く一般に発信するためには、不特定多数の人が使用する事を念頭において使い勝手が整備されたものでなければならない。学術界では、“プログラムは研究の手段に過ぎない”、“答えが正しく求めれば良い”、という考え方が主流で、プログラム自体に対する価値はまだあまり認められていない。しかし、研究成果が社会で共有されて初めて研究の目的が達せられるという観点からすると、使い勝手の良さや判り易さといったプログラミング技術は研究活動にとって不可欠の要素である。今後、学術界におけるプログラミング技術の価値や意義が認知されることを願っている。

Keity のホームページ公開により、情報発信手段としてのインターネットの有効性を実証できた。現在のところ、大学の研究室では、ホームページは研究室紹介や内部連絡の目的で使われているところが大半であるが、今後は、情報を迅速に発信するインターネットが、情報をオーソライズする論文発表と共に、情報発信手段の両輪になり、対外研究活動の中心基盤になっていくだろう。

2004 年 7 月の本サイトの開設から 8 ヶ月が経過した現時点でのプログラムダウンロード実績は、延べ 110 件 (大学・高専教員 49、学生 30、企業・研究所 28、など) である。本報告を契機にサイトの認知度が高まりダウンロード数が増加することを期待している。また、ユーザーから貴重な感想や指摘のメールを頂いている。記して感謝する。ソースコードの公開、ヘルプ機能の充実、メンテナンス体制、英語化、などのご指摘があり、今後の改善の指針としたい。

参考文献

- [1] 谷本潤, 萩島理, 片山忠久, 建築環境工学教育用コンピュータソフトウェア ET_AEE の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 11 号, 165-168, 2000 年 12 月
- [2] 谷本潤, 萩島理, シムクライパリティチャート, 建築熱システム及び都市気候連成シミュレーションのためのコンピュータソフトウェア AUSSSM Tool の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 17 号, 265-268, 2003 年 6 月
- [3] <http://area97.urban.eng.osaka-cu.ac.jp/~bsr/index.htm>
- [4] <http://home.kanto-gakuin.ac.jp/~d0443001/>
- [5] 建築設計資料集成 1 環境, 日本建築学会編, p51, 1978 年
- [6] 山崎均, 日照環境のための基礎計算式, 日本建築学会論文報告集, 第 288 号, 139-147, 昭和 55 年 2 月

[2004 年 9 月 17 日原稿受理 2005 年 2 月 23 日採用決定]