

都市スケールにおける二酸化炭素排出量の推定方法
A STUDY ON AN ESTIMATION OF CARBON DIOXIDE EMISSION
IN URBAN SCALE AND URBAN LIFE CYCLE

谷口 孚幸*、伊藤 武美**、有浦 幸隆*
Takayuki Taniguchi* , Takemi Ito** , Yunitaka Ariura*

ABSTRACT ; Carbon dioxide emission from urban activities is large amount and influences on the global warming. In order to reduce carbon dioxide emission from urban areas, it is need to estimate carbon dioxide emission in urban life cycle--construction, operation, repair, and breaking up--and explore alternatives for less emission in urban planning stage. In this paper, we have gathered fundamental data of carbon dioxide emission from urban activities and proposed how to estimate carbon dioxide emission on the urban life cycle.

KEYWORD ; urban life cycle , carbon dioxide emission , urban ecology , life cycle assessment

1. はじめに

近年、地球環境問題が重視されてきており、1992年6月ブラジルで開催された国連環境開発会議では環境と開発の両立を図るため「持続可能な開発(Sustainable Development)」について合意された。その対応をすべく、政府は1993年11月に環境基本法を成立させ、建設省は1994年1月に環境政策大綱を発表し、また、同3月に温暖化防止条約が発効した。このような状況の下、都市づくりににおいても地球環境へ及ぼす影響を事前に持続可能性の視点から把握することは重要なものになっている。

筆者らは都市づくりの新たな概念を、①都市域内で構成要素の調和・充実を図ること、②都市域外に対してエネルギー・物質代謝に関する負荷を軽減することの2つの視点から評価する手法を検討した。^{1) 2) 3)} これらを通して都市のライフサイクルを視点に入れて長期的かつ都市スケールで排出される二酸化炭素(CO₂)を計画段階で簡便にとらえることの重要性を認識した。建築・都市をライフサイクルで検討することについては既に提唱⁴⁾され、その手法として産業連関表を用いた研究が発表されている。^{5) 6)} 本報では都市の適切なエネルギー・物質代謝システムの検討を行うことにより地球環境問題の中でも大きな比率を占める温暖化対策に寄与することを目的として、そこにおけるCO₂発生要因を整理し、都市の建設・運用・修繕改修・解体等に関するCO₂排出原単位を既存文献等から収集した。これらをもとに計画段階での都市のライフサイクルCO₂排出量の推定の方法を検討した。

2. 都市におけるCO₂発生・固定構造の整理

2. 1 都市におけるCO₂発生・固定要因

地域・都市におけるCO₂発生と固定のメカニズムは大きく3分類できる。(図-1参照)

*大成建設(株)開発本部計画部 Planning Dept. Urban and Regional Development Div. TAISEI CORPORATION

**同上・東京大学先端科学技術研究センター Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

①自然のCO₂サイクル

(動植物による呼吸と植物による光合成等)

②エネルギー消費によるCO₂発生

i)化石燃料の燃焼

ii)化石燃料以外のエネルギー

③コンクリート構造物等による直接的CO₂発生・固定

($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2$)

これら①～③のうち、②エネルギー消費によるCO₂発生が大気中のCO₂を主に増加させ、地球温暖化に影響していると考えられる。

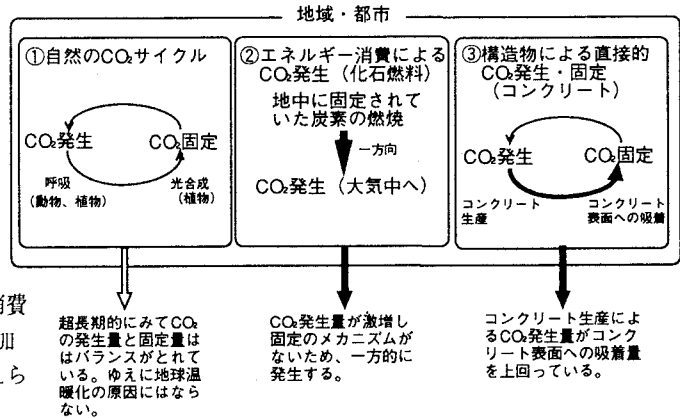


図-1. 都市におけるCO₂発生・固定メカニズムによる分類

①自然のCO₂サイクル

産業革命以前の約1万年間の大気中のCO₂濃度は275ppm前後であり⁷⁾、「人、動物、植物からのCO₂発生量」と「植物によるCO₂固定量（光合成）」はバランスがとれていた。また、光合成の速度は大気中のCO₂濃度の増加により促進（CO₂施肥効果）され⁷⁾、人、動物、植物等の個体の寿命は有限である。厳密な生物種・生態系を含めたCO₂発生・固定量の把握はミッシングリングと呼ばれる部分があるなど未解明の部分も多いため、ここでは深く掘り下げず、人間が増加しても直接的な呼吸によりCO₂のバランスは崩れないと考える。また、都市内の緑地は都市気象（ヒートアイランド現象）の緩和による冷房エネルギー使用量削減にのみ着目することとする。

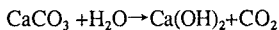
②エネルギー消費によるCO₂発生（化石燃料）

地中に固定されていた炭素を含む化石燃料（石油、石炭、LNG等）をエネルギー源として燃焼する際にCO₂を大気中へ放出する。しかし、化石燃料の生成には超長期の期間を必要とするが、短期的にCO₂を固定するメカニズムはなく、不可逆的な反応であるため、CO₂の一方的な増大につながる。

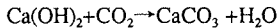
過去のトレンドより、産業革命以降の化石燃料使用量の増大に伴うCO₂発生量の急増が問題とされている。エネルギー消費構造などは、地域・都市環境計画の中で対応可能な部分であるため、今回の検討対象とする。

③コンクリートの生産と表面への吸着

地中で固定されていた石灰石中のCO₂が、コンクリート生産時に、大気中へ放出される。



一方、コンクリート表面はその後中性化反応により大気中のCO₂を吸着する。



しかし、CO₂を吸着するコンクリート表面は生産量の一部であるためCO₂の発生量が固定量を上回り、CO₂増加の原因となっている。また、コンクリートは現代の地域・都市を形成する材料の中でも比率が大きく、発生・固定要因にも特徴があり、材料選択により計画的に対応可能な面もあるため今回の検討対象とする。

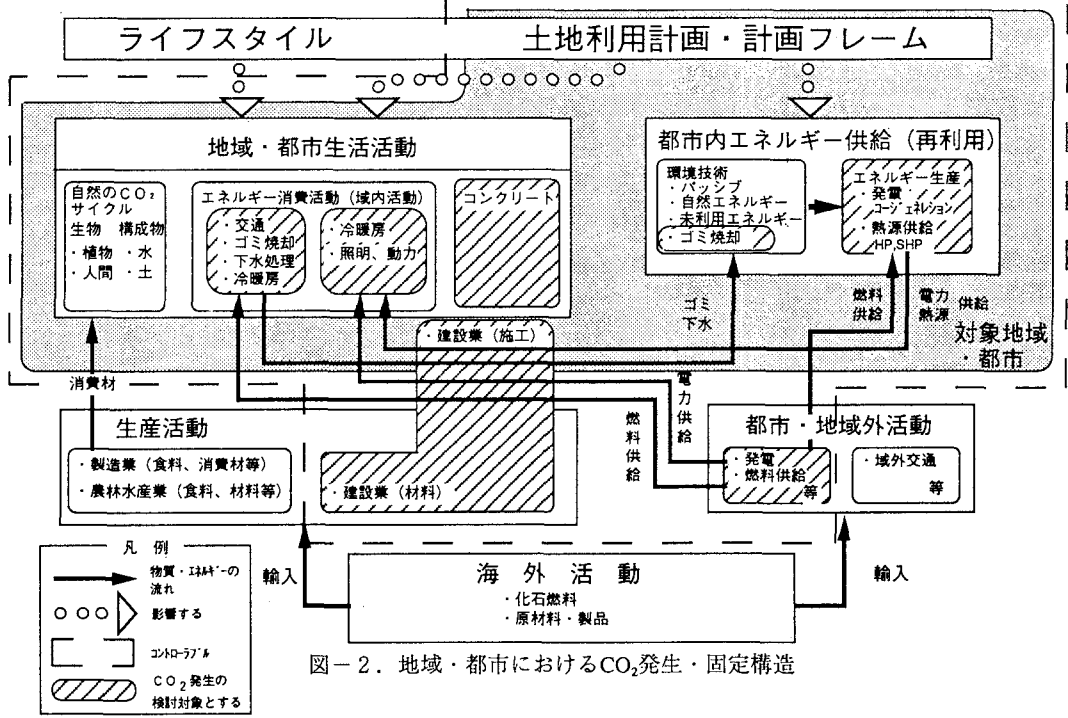
2. 2 地域・都市活動に関するCO₂発生・固定構造

地球・都市活動の面から、CO₂発生・固定については、①地域・都市内部で直接発生するCO₂と、②地域・都市外部で間接的に発生・固定するCO₂の2つに分けられる。（図-2 参照）

地域・都市内部における発生・固定については、植物による固定、地域・都市内部での化石燃料使用によるエネルギー消費活動、ゴミ焼却、コンクリート表面への吸着等が挙げられる。

地域・都市外部でのCO₂発生については、地域・都市への電力供給（発電）に際しての発電所でのCO₂発生、消費材や食料等の製造に際してのエネルギー消費に伴うCO₂の発生等が考えられる。

地域・都市計画で対応可能な対象は、地域・都市内部で発生するCO₂と地域・都市外部でのエネルギー生産に伴うCO₂及び、建設材料生産に伴うCO₂の3つが考えられる。後者の2つは、地域・都市外部のものであり、それぞれのエネルギー消費構造等による部分が大きく、CO₂発生量を直接的にコントロールできるわけではないが、地域・都市の土地利用計画やエネルギー・物質循環構造に密接に関係するため今回の検討対象とする。なお、自然サイクルについては、地域・都市計画で削減可能とはいえないが、数量の把握のための参考値として扱う。



図－2．地域・都市におけるCO₂発生・固定構造

3. CO₂発生・固定に関する原単位等の収集・整理

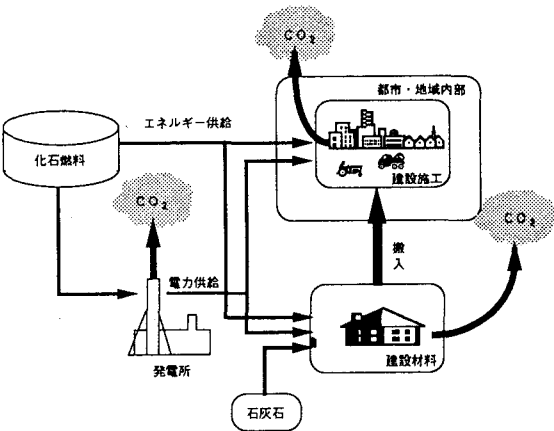
3. 1 原単位の定義

地域・都市計画の初期段階において利用可能な原単位を既存文献から収集整理した。その際、土地利用計画、施設計画に直接に反映が可能なように、単位面積当り、単位人口当りを基本として、地域・都市活動のすべてを捉えることをめざした。

3. 2 建設段階

建設段階のCO₂排出量に関しては、産業連関表を用いて、建設活動において消費される素材量、消費エネルギー量等を間接的消費も含めて算出する方法が報告されている。^{4)～10)}ここでは、計画段階で扱いやすい建築構造別および、土木工種別の原単位を示す。

(図－3、表－1、表－2 参照)



図－3 建設関連のCO₂発生のメカニズム

表－1 建築単位床面積当りの

二酸化炭素排出量（C換算）

構 造	炭素排出量（kg／㎡）	
	（社）日本建築学会 4）による	須 田 8）による
建築（平均）	114	—
木 造	79	93.3
SRC造	167	177.0
RC造	158	160.6
S 造	104	99.3

建築については、両者ともに昭和60年建設部門分析用産業連関表を用いて算定しており、その差異は10%程度で、いわばマクロな分析である点を考えると同等と判断できる。

土木については、両者ともに昭和60年建設部門分析用産業連関表を用いているが、その差異は最大で約6倍となっている。

その差異の原因はCO₂排出量を算定の前段階のエネルギー消費量のうち土木工事分をみると、岡本が12.16×10¹⁰Mcalに対して片脇は30.97×10¹⁰Mcalと多く、また、土木工種の分類を、前者は16部門に対して後者は31部門に分けているなどが考えられる。今後、原単位の吟味が必要である。

3. 3 運用段階

運用段階のCO₂排出量に関して報告されている原単位^{11)～12), 14)}と、加工して作成した原単位を示す。（表－3参照）

住宅の年間エネルギー負荷を電力4Gcal／戸・年、ガス10Gcal／戸・年とすると住宅からのCO₂排出量は約1.5t／戸・年となる。住戸密度を仮に40戸／haとすると、住宅のエネルギー起因によるCO₂排出量は60t／ha・年となる。したがって、植物による吸収はせいぜい9t／ha・年と少なく、都市部における植物の効果は小さいと判断できる。

同様に、ha当たり100人の人口密度とすると、人間の呼吸によるCO₂排出量の36.5t／ha・年に対して植物の吸収量は9t／ha・年と少ない。

冷暖房・給湯・照明等のエネルギー消費によるCO₂排出量は、電気使用はガス使用の約2倍のCO₂を排出する。このことより、エネルギー供給

表－2 土木工種別単位工費当たりの

二酸化炭素排出量（C換算）

工 種	炭素排出量（ton／100万円）	
	岡本 他 9）による	片脇 他 10）による
鉄 道	7.40	1.87
電 力	4.80	1.32
電 信	2.88	1.21
上工水道	4.30	1.70
土地造成	3.89	1.62
治 水	7.24	1.22～1.69
下水道	6.24	1.49
道 路	5.68	1.40～2.20
港 湾	3.92	1.53
他公共	4.71	—
農業土木	6.16	1.52
その他	5.58	1.36

表－3 運用段階の二酸化炭素排出量（C換算）

種 別		炭素排出量	備 考
植 物	高木・低木	△4.1～5.5 t／ha年	11) による △は吸収を示す
	草地	△6.0 t／ha年	
	スギ林	△7.1 t／ha年	
	ブナ林	△9.0 t／ha年	
人 間		365kg／人年	
冷暖房・ 給湯・ 照明等	ガ ス 電 気	58kg／Gcal 129kg／Gcal	0.642kg／㎡ 0.111kg／kwh 12) による
下水処理		45 g／㎡	流入水 TOC52～56mg／l 流出水 TOC7～10mg／l 13) から算定
ごみ 全国（S63） 焼却 東京（H1）		0.23 t／t・ゴミ 0.26 t／t・ゴミ	14) C換算
自動車	ガソリン車 （2000cc）	76.8 g／km	10モード 15) を C換算距離あたりの 電力消費量 16) から換算
	電気自動車	61.7 g／km	
コンクリート 表面への吸着		4.7 g／㎡年	17) から中性化進行速度を2cm／50年と設定し、算定

システムのベストミックスによりCO₂排出負荷が軽減されることが期待される。

地域・都市活動に伴い下水処理、ごみ焼却、移動手段としての自動車等によるCO₂排出、及び、コンクリートの中性化によるCO₂吸収が考えられ、これらを網羅する必要がある。

3. 4 修繕・改修段階

修繕・改修工事に関係するCO₂排出量に関して報告されている原単位^{18) 19) 20) 21)}を示す。

(表－4 参照) これらは、修繕・改修工事費の建設費との金額比であり、使用材料や工種に差があることから、より実態に即した値が望まれる。

3. 5 解体段階

解体工事に関係するCO₂排出量に関して報告されている原単位^{18) 19) 22)}を示す。(表－5 参照)

4. 都市スケールにおける二酸化炭素排出量の推定方法

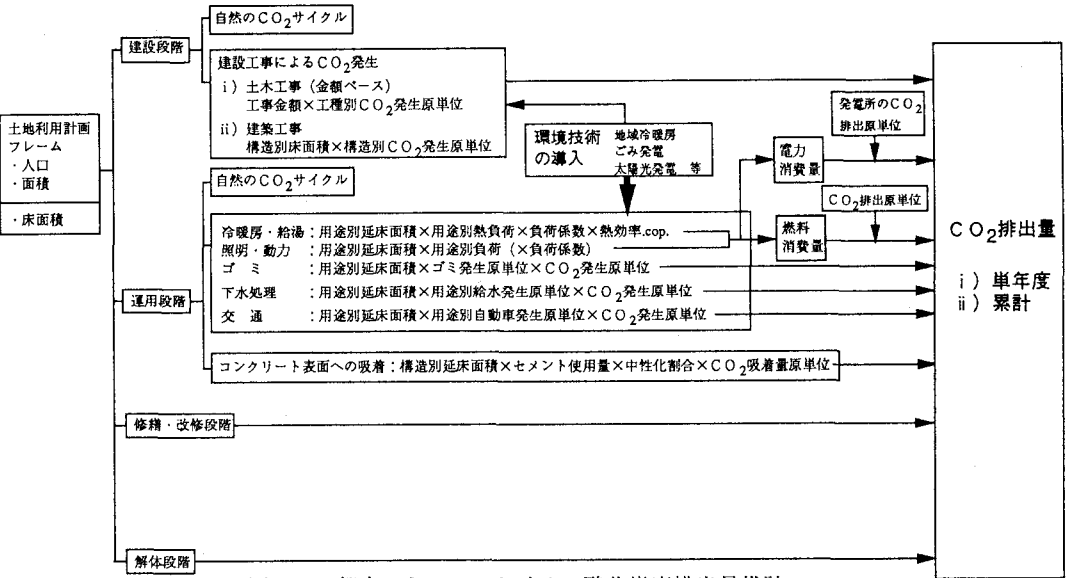
都市環境計画の計画段階で想定可能な計画人口、土地利用面積、延床面積等を設定し、CO₂発生抑制に関連する環境技術を想定する。この際、人口密度、負荷密度等の都市計画的内容により導入される環境技術は制約される。

表－4 修繕・改修段階の二酸化炭素排出量 (C換算)

種 別		炭素排出量	備 考
修繕	・ 躯体 + 外装	建設時の1% / 年 建設時の2% / 年	18) による 金額比
	・ 内装 + 設備	建設時の0.9% / 年	19) による 金額比
改 修		内装+設備分の100% を20年間で更新	18) による 金額比
		建設時の20%	20) による 資源量比
		建設時の66%	21) による

表－5 解体段階の二酸化炭素排出量 (C換算)

種 別	炭素排出量	備 考
オフィス	建設時の20% 改修工事の20% を廃棄処分	18) による 金額比
住 宅	改修工事の20% 廃木材として木材 45kg / m ² RC造 11kg / m ²	18) による
事務所 SRC造	26kg / m ²	19) による
	36.5kg / m ²	22) による



図－4 都市スケールにおける二酸化炭素排出量推計フロー

これらを表－1～表－2に示したCO₂排出量原単位を組入れてモデル化することにより、土地利用計画や導入環境技術による概略のCO₂排出量が簡便に推定可能になると考えられる。(図－4参照) 都市・地域が長期的に地球環境に及ぼす負荷を比較、評価し、より負荷の少ない代替案を計画することが可能になると考えられる。

5. おわりに

本報では都市スケールにおけるライフサイクルCO₂排出量の簡便な推定の考え方を示し、そのために必要な原単位等を収集したが、まだ、不十分な面がある。原単位については産業連関表による方式よりも個別の積み上げ方式によるものの方が、具体的な計画に反映させやすいと考えられる。今後、原単位等の精度の調整と、都市計画への適用を行いモデルの具体的な検討を試みたい。今回の検討に際し、御助言いただいた東京大学先端科学技術研究センター 花木啓祐教授に謝意を表します。

参考文献

- 1) 谷口孚幸・中村秀一・伊藤武美 (1992) : エコロジカル・アーバン・デザインへのアプローチ方法の検討, 環境システム研究 vol.20,P124-129
- 2) 谷口孚幸・伊藤武美・末吉裕紀・谷内康弘 (1993) : エコロジカル・アーバン・デザインのための都市環境評価システムの研究, 環境システム研究 vol.21,P319-324
- 3) 谷口孚幸・高山勉・中村秀一・伊藤武美 (1992) : アーバン・エコロジー実現のための技術動向, 環境情報科学19巻2号, P49-53
- 4) (社)日本建築学会建築と地球環境特別研究委員会 (1992) : 建築が地球環境に与える影響
- 5) 竹林芳久・岡建雄・紺屋哲夫 (1992) : 産業連関表による建築物の評価その2 事務所建築の建設による環境への影響, 日本建築学会計画系論文集No431,P31-38など
- 6) 大崎一仁・松縄堅・伊香賀俊治 他 (1992) : 建築・都市づくりにおける環境負荷の削減に関する研究その1～その3, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集,P1233-1244など
- 7) 宇沢弘文・國則守生編 (1993) : 地球温暖化の経済分析, 東大出版会,P42-49
- 8) 小玉祐一郎・澤地孝雄 (1993) : 環境と共生する都市と建築をめざして, ヒートポンプによる冷暖房No48,P4
- 9) 岡本英靖・酒井寛二・漆崎昇 (1993) : 土木工事における炭素排出量の推定, 第1回地球環境シンポジウム講演集, P93-98
- 10) 片脇清士 (1992) : 土木建築分野での資源・エネルギー消費・環境負荷の試算例, JACIC情報28号,P20-23
- 11) (財)電力中央研究所 (1992) : 温暖化の抑制対策, 電中研レビューNo.28,P65-70
- 12) 東京都環境保全局 (1991) : 地域暖冷房推進に関する指導要項
- 13) 藤井滋穂・宗宮功 (1989) : 下水処理場の有機物収支, 京都大学衛生工学研究会第11回シンポジウム論文集,P17-22
- 14) 環境庁企画調整局地球環境部編 (1992) : 地球温暖化防止ハンドブック第3巻民生論,P85-89
- 15) 金子幹宏 他 (1992) : 自動車排ガス及び大気中の一酸化炭素の挙動, 産業公害 vol.28, No5,P20-27
- 16) 福岡三郎 (1993) : 低公害車について, 大気汚染学会誌第28巻第1号,P17-32
- 17) 梶田佳寛・棚野博之 (1991) : コンクリートの中性化進行予測モデル, コンクリート工学論文集第2巻第1号,P125-134
- 18) 伊香賀俊治 (1985) : 建築・都市づくりにおける環境負荷の削減に関する研究
- 19) 大成建設技術開発部 (1993) 環境負荷に関する検討 (社内資料), P13
- 20) (社)建築業協会 (1991) : 建設業に係わる地球環境問題の研究, P121
- 21) 鈴木道哉・竹林芳久・岡建雄 (1992) : 産業連関表による建築物の評価その4 事務所建築の改修に伴う必要資源量およびCO₂, SO_x, NO_x 煤塵排出量, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, P1249-1252
- 22) 下川泰三・竹林芳久・鈴木道哉・岡建雄 (1993) : 産業連関表による建築物の評価その10 解体工事に必要なエネルギー量と環境負荷, 日本建築学会大会学術講演梗概集,P431-432