

発展途上国における気候変化の緩和に資する住宅・都市形成支援に関する研究

国土交通省国土技術政策総合研究所

高度情報化研究センター住宅情報システム研究官 小林英之

平成16～18 年度合計予算額 38,244千円
(うち、平成18年度当初予算額 10,645千円)

[要旨]

地球温暖化対策において、発展途上国の都市人口の急増と近代化に伴うエネルギー消費、建材等資源消費、モータリゼーションに伴うガソリン消費の急増が懸念されている。本研究においては、インドネシア7都市における13の計画的住宅地を対象として、約900世帯を調査し、これらが開発された1980年代からの住宅近代化の実態を解明すると共に、建材消費、家計における電力・燃料消費、自動車等によるガソリン消費を把握し、計画評価のための原単位を求めた。次に、この中から沿岸都市であるチレボン市、内陸で冷涼なバンドン市から2地区を選んで、これを対象として、二酸化炭素排出を増大させずに、健康・安全・快適を理念とする近代化を進めるための都市の将来像を現地建築家・都市計画家の協力を得て複数代替案として具体的に設計し、現地ワークショップを通じて、一般市民、学識経験者とも討論を行い、社会文化的な実現可能性に関して議論を深めた。

討論を進める中で、当初の3の側面に加えて、木造建築物による炭素固定と森林破壊の関係、都市の緑化等に関しても議論を進めることができた。

[キーワード] 二酸化炭素、発展途上国、都市住宅、将来像、選択肢

1. はじめに

1999年に、環境省地球環境研究総合推進費によるFS「インドネシアにおける地球環境と住宅建設・都市開発の相互影響に関する研究」を実施した。これは、地球温暖化が海面上昇等を通じて沿岸都市に及ぼす影響と、住宅都市部門に係る温暖化ガス排出に関する、調査研究の可能性と方法論を検討するものであった。

このFSで検討した課題の一つであるインドネシア沿岸都市における海面上昇影響に関する調査分析を、2000～2002年度に、総合推進費による「海面上昇の総合的影響評価と適応策」のサブテーマ(2)として行った。

本研究は、もう一つの課題である、環境負荷の小さい住宅・都市の将来像に関する研究である。

主要な論点は、モータリゼーションを前提とした都市の拡大、クーラー等による家計のエネルギー消費の増大、及びスクラップ・アンド・ビルドによる建材の大量消費である。とりわけ、木造住宅の老朽化・市街地大火による減少と、これに代わる煉瓦・セメントを主要な材料とする住宅への変更が、住宅・都市の炭素固定量(ストック)を減少させている。更に議論を進める中で、都市の高密化・拡大に伴い、都市周辺の緑地が減少しつつあることへの危惧が議論され、課題の一つとして浮上した。

現在進行しつつある、エネルギー消費的な生活への「近代化」に対抗する、もう一つの重要な観点は、適応時間である。地球温暖化の深刻化は、最終的には、経済的文脈において、建築費・家計における光熱費・ガソリン代等を通じて、消費生活、住宅の形から、都市の形態にまで影響を及ぼしていくであろう。しかし、このような基本的前提条件が変化してから、後追的に適応していくために住宅や都市の形態を変更・再編成するためには、費用と時間がかかる。それ以前に、将来の環境変化を織り込んだ住宅・都市の将来像を構想・提示しておき、前提条件の変化と並行して適応していくことができれば、よりハッピーな人間居住が実現するであろう。現地の諺に言う、”Siap payung sebelum hujan”（雨が降る前に傘の準備）という考え方である。

2. 研究目的

発展途上国における都市の人口増大、生活の近代化等は温暖化ガスの排出を増大させることが国際的な課題とされている。発展途上国内においても、従来の「衛生・快適・安全」に加えて、新しい価値尺度としての地球環境は認識され、計画の中で議論されるようになりつつある。インドネシアでは森林乱伐抑制が喫緊の課題であることから、許可証を有する合法的木材の使用が推進され、住宅地の拡大抑制と緑化が検討されている。急増する電力需要を抑えるために、省電力型電灯(**Lampu Hemat**)の普及が進められている。しかし、地球環境に配慮した住宅・都市の将来像がいかなるものかについて、新しい将来像・モデルはまだ提示されていない。従来の安全・衛生・快適に、地球温暖化という新たな評価軸を加えた将来像が求められている。

本研究では、住宅・住生活実態調査、建材工場等調査により住宅地からの排出の現況を把握すると共に、将来の都市と住宅の将来計画代替案のそれぞれに関して、比較評価のために排出量を予測するための原単位と評価方法を用意することを中間目標とする。次に、地区を特定して、二酸化炭素排出の少ない代替的な将来像を作成し、これらを比較評価すると共に、現地ワークショップを通じて、社会経済文化的側面に関しても検討を行い、実現可能な提案としてとりまとめることを最終目標とする。

3. 研究方法

(1)住宅・都市のシステム・バウンダリー

排出量を尺度として住宅・都市の現況を評価すると共に、将来像を比較評価する際には、直接的な排出と間接的な排出の両方を見る必要がある。開発地からの排出だけに着目するならば、例えば電力の大量消費（排出は発電所で生じる）や、施工段階で殆ど排出の生じないプレキャスト部材が高い評価結果につながり、地域総体としての排出量を抑制するような選択を導かない。

自動車交通量の評価に際しても、公共交通機関と歩行圏を中心とした空間計画と、各世帯が自家用車を利用するモデルとでは排出量が異なり、これは住宅地の空間計画に関係する。しかし、自動車が実際に排出している量を団地の内部と外部で区別し、外から進入する自動車を含めて把握しようとする、モデリングが複雑になる。この場合は、世帯を単位として、団地外での走行も含めてシステム境界を設定する方が計画評価の方法として現実的である。

(2)ストックの変化としての評価

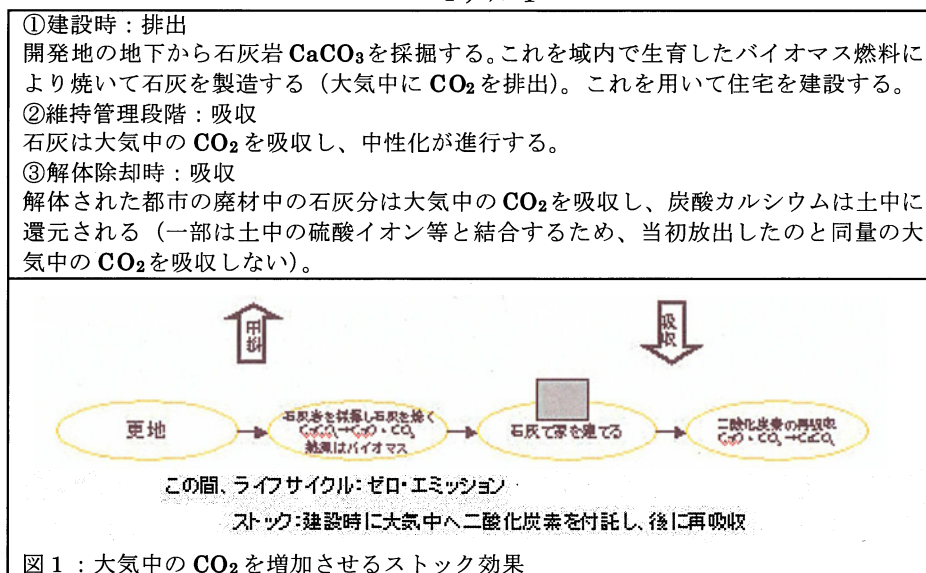
間接的な排出量を評価するためには、**LCA**のアプローチがある。例えば工業製品に関して、製造時から廃棄に至るプロセス全体での排出量を、個々の製品に関して評価する。

例えば、セメント、鉄骨、煉瓦、建築用ブロック、屋根用鉄板、サッシュ等のそれぞれについて、求められたライフサイクルの値を、恰も建築費の積算を行うように足し合わせることで、1棟の住宅、ひいては一つの地区の評価を行うことができる。本研究ではこの考え方に従い、把握可能な範囲で、生産過程での排出を調べた。

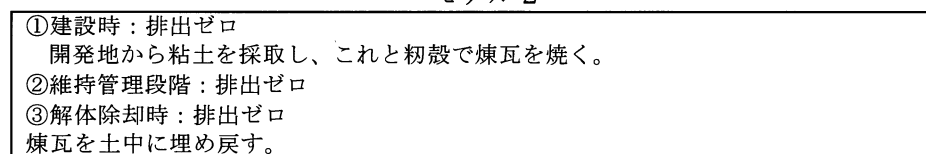
更に、住宅単体の期待耐用年数で割ることにより、単位期間（例えば年次）当たりの排出量を計算することができ、これは自動車交通によるガソリン消費や、家計における燃料消費、電力消費と同じ次元を有する数値として合算評価することが可能となる。

一方、**LCA**のアプローチは、永遠に継続する規模一定の住宅地を構成する住宅が、同じ類型を維持しつつ、一定の寿命で更新されていくような恒常的な状態を仮定すると妥当であるが、ダイナミックに変化する都市におけるストック変化の影響を評価できない。例えば、最も単純化した以下の3モデルは、**LCA**の観点だけからは等価（ゼロ）である。

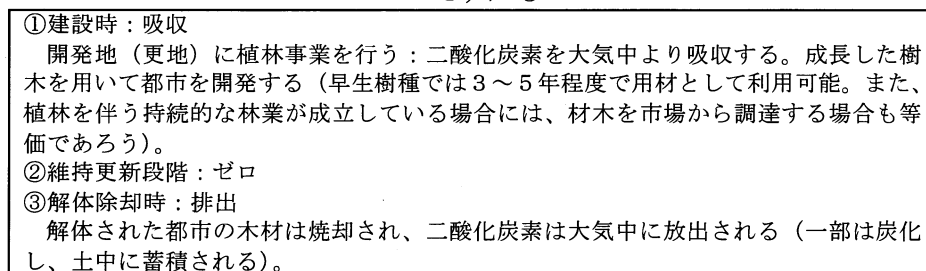
モデル1

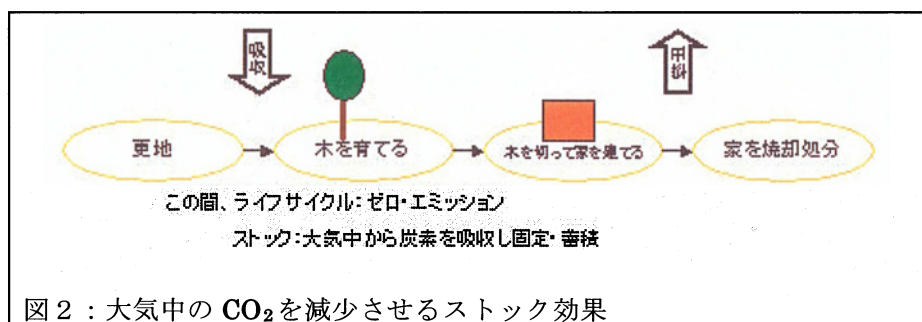


モデル2



モデル3





モデル 1 は、都市が存在（拡大）することにより、明らかにモデル 2 よりも大気中の二酸化炭素量を増加させている。これに対し、モデル 3 では、都市が存続する間、元来大気中にあった炭素を一定量固定している。単に材料自体のライフサイクル排出量を比較評価し、より小さい材料を選択することだけでは、適切な解決になるとは限らない。

例えば、2 億人強の総人口を擁するインドネシア全国で見た場合、木造住宅が煉瓦造住宅に置き換わると、全住宅に含有されていた炭素は減少し、数億トンの CO₂ として大気中に放出される。これは現に生じてきた変化である。

発展途上国において、大きな人口移動と都市開発フローが進行しつつある状況を前提とする場合、ストックの変化としてのフローは無視できない大きさに達している可能性がある。また、ストックの質を変更するような事業形態もまた、フローを生じていることを考える必要がある。

従って、住宅・都市の将来像を最終的に評価するためには、時系列におけるマクロなストック量の変化・類型の変化のシナリオを設定して初めて、全体的な排出量が評価できるようになると考える。

4. 結果・考察

(1). 資源環境的文脈から見たインドネシアの住宅・都市

(1-1) 木造から煉瓦造へ

インドネシアは、国土総面積 192 万 km² の内、144 万 km² が森林である¹⁾。各地の住宅は、それぞれ地方色の強い木造住宅であった。長年の経験に基づく、耐震的な工夫も認められる。スマトラ沖で発生した 2004 年 12 月 26 日(M9)・2005 年 3 月 28 日(M8.8)の両大地震の震源地に近いニアス島でも、全壊 12,010 棟、大破 32,454 棟、一部損壊 39,437 棟の被害を生じたが、大半は煉瓦造の住宅であり、巨大な伝統的住宅は被害を免れた²⁾。スマトラ、スラウェシ等の山間部などでは独立前の住宅が現在も住み続けられている。沿岸部や都市の住宅は材径・規模が小さく、洋式の構造(トラス等)の影響を受けている。

1968 年のスハルト政権成立直後から、自然林は「国有地」とされ、華僑資本や国軍に森林伐採事業権(HPH)が与えられ、材木の日本等への輸出を通じて外貨獲得に貢献することとなった。70 年代までは、原木(丸太)の形で輸出されることが多かったが、その後禁止され、80 年代には付加価値の高い製材と合板を輸出する形をとる。1999 年の APKINDO 統計によれば、5,559 万 m³ の丸太が伐採され、1,939 万 m³ の合板が生産され、内 277 万 m³ が日本に輸出されており、日本の輸入合板の 58%を占めている³⁾。輸出が軌道に乗ってからは、国際価格に連動して木材の国内価格も上昇した。

これに代わる主要な建材として、零細な工場で刳殻あるいは薪を燃料として、粘土を低い温度

で焼いた強度の低い低価格の煉瓦が広範に製造され、普及するようになった。

(1-2) セメント産業育成と恒久住宅の普及

インドネシアにおけるセメント需要は、独立後 70 年代前半まで輸入によって賄われていたが、1975 年から国産化が進んだ⁴⁾。国策によって建設される住宅は、ローコストハウス（RC 柱＋コンクリートブロック）も、中層集合住宅（RC ラーメン構造＋コンクリートブロック、または PC プレキャスト構造）も、民間では赤レンガが多いのに対して、政府系では常に壁にはセメントを使うバタコと呼ばれるブロックが優先的に選択された。耐震性のため、セメント：砂：砂利の調合比率を確保することが強調された（水・セメントの比率には殆ど言及がない）。

97 年の通貨危機後、内需低迷とルピア安を背景に、外資の導入や中国における建設需要の台頭により国際化し、96 年には 20 万トン程度だった輸出を急伸させ、2000 年にはインドネシアは年間生産量 3 千万トン余りの内、845.5 万トンを輸出する世界第 2 位のセメント輸出国になった⁵⁾。その後、スマトラ沖地震の復興需要にも支えられ、内需も好調な推移を見せており、既にアジア通貨危機発生前の水準を既に 2 割程度上回っている⁶⁾。しかし、耐震強度上勸奨されるセメントと鉄筋をいかに節約するかがコスト節約の提要であり、完成後外形として見えないセメント混合比や鉄筋使用量を建設段階で適正に監視することは難しい。

(1-3) 住宅政策

1970 年代に、住宅公団(Perum Perumnas)による団地開発、日本の住宅金融公庫に相当する「国民貯金銀行 (BTN)」が実施する民間ディベロッパーへの融資等の制度が整い、戸建て住宅団地開発が進められた。公的に建設される住宅は、鉄筋コンクリートの柱梁で補強したコンクリートブロック造が中心で、当初部分に関しては開発許可・建築許可制度に基づく、耐震基準が適用された設計となっている。しかし、80 年代から、分譲価格抑制のため、増築可能型が勸奨され、無許可で個々人が増築を行うことが一般化した。また、既成市街地から農村部まで、都市的住宅のイメージが普及し、建築許可手続きを経ることなく、外形だけ公的な住宅・都市的な住宅を模倣しただけの、歴史的にも工学的にも裏付けがない安価で脆弱な煉瓦造住宅が広く普及している。

住宅統計においては、「恒久」「半恒久」「仮設」という区分が行われ、長く低質な煉瓦造も「恒久」住宅、良質な木造住宅も「仮設」として区分されてきた。近年になって、材料ではなく、耐用年数による分類に修正されたが、現場での理解はまだ混乱している。

国全体では、1970 年代以来、木造住宅から煉瓦造への変化が進行した。以下、統計局資料に基づいて状況を見る。

1961 年時点の人口統計(Sensus Penduduk Republik Indonesia)では、まだ住宅各部材料別の調査は行われていないが、居住している住宅について恒久、半恒久Ⅰ、半恒久Ⅱ、仮設という区分で、表 1 のような集計が行われている。まだ、恒久住宅の比率は都市部でも低かった。

表 1：人口統計にみる住宅の区分(1961)

	都市部	農村部	全体
恒久	18.6%	3.8%	5.8%
半恒久Ⅰ	16.8%	6.5%	7.9%
半恒久Ⅱ	42.7%	53.2%	51.9%
仮設	20.9%	36.5%	34.4%

1992 年以降は、国富調査(Survai Sosial ekonomi Nasional)の中で、住宅の床、壁、屋根等の部分別に主要材料の調査が行われるようになった。2000 年以降は、前近代的な住宅という意味で、竹とその他の比率の集計表だけが掲載されるようになった。

1992 年については、都市部と農村部を分けて集計されている（表 2）。

表 2：国富調査にみる住宅の壁の材料(1992)

壁の主要材料	煉瓦	木	竹	その他
都市部	65.31	21.43	11.89	1.37
農村部	31.17	34.49	31.90	2.44
全体	41.67	30.47	25.75	2.11

煉瓦造住宅が、通常「恒久住宅」として表現されていることを考えると、1961 年から 92 年の間に、壁の材料は大きく変化し、都市部では煉瓦造が 18.6%→65.31%と、過半数を占めるようになった。

1992 年以降の推移（全体）は表 3 の通りである。

表 3：1992 年以降の国富調査による壁の材料別割合の変化

壁の主要材料	煉瓦	木	竹その他
1992	41.67	30.47	27.86
1993	-	-	-
1994	47.69	29.19	23.12
1995	47.69	28.79	23.52
1996	51.19	27.81	21.00
1997	53.40	27.67	18.91
1998	54.25	27.78	18.10
1999	55.79	26.92	17.29
2000			15.98
2001			16.89
2002			15.71
2003			14.21
2004			12.86

（最も卓越する材料で住宅を分類し、戸数の割合を計算したものである）

これを見ると、従来から「仮設住宅」として低く評価されていた竹（網代など）の壁の住宅が急速に減少し、煉瓦造が増加している。基本的に木造軸組構造に対応すると考えられる「木の壁（板壁等）」の住宅は、漸減しつつある。木造住宅の中にも寿命が長いものがあることから、単純に使用材料だけで恒久－仮設を分類するのではなく、寿命を指標とするように基準は改正されているようであるが、個々の住宅の分類は難しく、現場での理解はまだ混乱している。ごく最近の統計では、生活の近代化の新しい指標として、天井の有無を集計している。

社会的に発表される統計書における集計方法の変化は、価値観の変化を反映している。

(2) 計画的住宅団地の実態調査

2004 年度に 7 都市を対象に、13 団地 900 世帯に関して調査を行った（図 3、表 4）。

調査対象都市は、現地学識経験者による検討委員会の意見をふまえ、温暖で平坦な沿岸都市と寒冷で斜面の多い内陸都市から選択し、対象団地は、各都市で 1970 年以降に住宅公団が計画的に開発した代表的な戸建分譲住宅団地を選択した。対象住宅は、将来像検討を視野に入れつつ、団地の中から空間的にまとまりの良いエリアを設定して、平面図採取及び質問票による戸別訪問調査を行った。



図 3：調査対象都市位置図

表 4：調査対象団地一覧

① バンドン市	A1 公団サリジャティ団地
	A2 公団アンタパニ団地
② チレボン市	B1 公団ハルジャムクティ団地
	B2 グリヤ・スニヤラギ・フルメイ団地
③ スマラン市	C1 公団パニユマニク団地
	C2 プラモンガン・インダ団地
④ マラン市	D1 公団サウオジャジャル団地
⑤ マタラム市	E1 公団スウェタ・インダ団地
	E2 バグタン・フルメイ団地
⑥ マカッサル市	F1 公団パナクカン団地
	F2 ブミ・タマランレア・フルメイ団地
⑦ バンジャルマシン市	G1 公団ブルントウン団地
	G2 H K S N 団地

都市別に住宅地における世帯当たり年当たりの、二酸化炭素排出量を、光熱、交通、建築材料の面から都市別に総括すると、表 5 のようになる。現段階で光熱・煮炊きに伴う排出が最も卓越するという結果になっている。建築材料に関して、バイオマスに由来する煉瓦・木材等が計算に入らないため、ライフサイクル排出量を年当たり繰り延べると低い値となる。前述のストック効果については本表（年当たり排出量）には含めていない。

表5：住生活における二酸化炭素排出の都市別総括表

都市名	サンプル	光熱	交通	建築材料	合計
バンドン	200	2,390	1,455	108	3,868
チレボン	200	1,891	751	76	2,708
マカッサル	100	2,262	821	75	3,159
パジャジャラン	100	2,120	1,322	61	3,502
スマラン	100	1,976	1,092	72	3,139
マタラム	100	1,870	1,223	99	3,192
マラン	100	2,087	1,179	85	3,350

単位：Kg・CO₂/年・世帯

以下、バンドン市及チレボン市の計4団地に関して、詳細な内訳を示す。

(2-1)交通手段

世帯調査において、目的別に移動頻度、移動距離、移動手段に関して質問した。更に、交通手段の保有状況についても調査した。

①前提条件

自家用車、バイクの場合には、ガソリン消費量等を直接的に調査により把握可能である。

乗り合いバスの場合には、平均乗車率等、稼働率などを、業者を対象に別途調査する必要がある。インドネシアにおいては、乗り合いバスの多くは、レンタル方式で経営され、運転手が車両を借り、営業収入から燃料費、車両賃貸料を支払い、残りを収入としている。このため、所有者の所には、直接的な集計表などが存在しない。

世帯を対象とした調査においては、自家用車に関しては、保有状況、月平均燃料消費量(費用)、乗り合いバス等に関しては、利用距離の概略を質問した。また、目的別に、通勤、通学、宗教、購買(市場、スーパー、ショッピング・モール)、レクリエーションに関して、移動距離、所要時間、頻度(回/週)を質問した。

②調査結果

バンドン市及びチレボン市の各2団地の質問票(有効回答 399 票)に基づいて、地区別の交通手段の種類別・目的別利用状況を示す。

これまでに集計した4地区の内、Anatapani 地区は、会社経営者などが多く、所得も高い。逆に最も所得の低い Sarijadi 地区に退職者が多い。開発時期が早く、入居者の高齢化が進んでいると共に、高い失業率を反映していると考えられる。

表6：団地毎の回答者の属性 (地区別%)

職業	A1.	A2.	B1.	B2.
大学教員	1.0	1.0	2.0	2.0
教師	1.0	-	3.0	3.9
主婦	1.0	3.0	4.0	2.9
会社員	15.2	16.2	42.4	25.5
学生	1.0	-	-	1.0
退職者	37.4	13.1	11.1	11.8
公務員	18.2	24.2	25.3	17.6
軍人/警官	-	-	2.0	2.0
会社経営者・自営	16.2	41.4	10.1	31.4
その他	9.1	1.0	-	2.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

表7：団地別月収

地区	最低 (Rp)	最高 (Rp)	平均 (Rp)
A1. 公園サリジャディ団地	90,000	3,000,000	1,168,787
A2. 公園アンタパニ団地	500,000	15,000,000	2,193,917
B1. 公園ハルジャムクティ団地	350,000	4,000,000	1,597,556
B2. グリヤ・スニヤラギ・ブルメイ団地	200,000	5,000,000	1,303,535

表 8 : 家族成員数

地区	最低	最高	平均
A1. 公園サリ ジャディ 団地	1.00	10.00	3.9892
A2. 公園アンタパニ 団地	2.00	7.00	4.0303
B1. 公園ハルジャムクティ 団地	2.00	8.00	4.0707
B2. グリヤ・スニャラギ・ブルメイ 団地	1.00	8.00	3.5294

表 9 : 自家用車（四輪）保有状況

地区	最低	最高	割合 (台/世帯)
A1. 公園サリ ジャディ 団地	0	1	0.15
A2. 公園アンタパニ 団地	0	2	0.72
B1. 公園ハルジャムクティ 団地	0	1	0.24
B2. グリヤ・スニャラギ・ブルメイ 団地	0	1	0.18

自営業・会社経営者が多い **Antapani** 地区で自家用車保有率が突出して高くなっている。自家用車の多くは、通勤のみならず、業務にも用いられていると考えられるが、今回の調査ではそこまで把握できていない。

表 10 : 自動二輪保有状況

地区	最低	最高	割合 (台/世帯)
A1. 公園サリ ジャディ 団地	0	6	0.83
A2. 公園アンタパニ 団地	0	3	0.74
B1. 公園ハルジャムクティ 団地	0	3	0.83
B2. グリヤ・スニャラギ・ブルメイ 団地	0	3	0.64

所得が高く自家用車の保有率が高い **Antapani** 地区で自動二輪の保有率はむしろ低い。

表 11 : 団地別に見た、団地内移動のための交通手段選択

交通手段	A1.	A2.	B1.	B2.
自家用車／自動二輪	4.4	9.1	36.7	7.4
都市バス	60.3	4.5	-	1.1
バイク後部	7.4	27.3	3.3	-
人力車	-	46.6	16.7	25.3
徒歩	27.9	12.5	43.3	66.3
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

所得水準のみならず、住宅地の空間構成（計画）・バス路線網などが、居住者の移動手段を大きく左右していることがわかる。「バイク後部」は、現地語で **Ojek**（オジェ）と呼ばれる、二輪車の後部座席を用いて乗客を運び、運賃を取るサービスである。

表 12 : 目的と交通手段

手段↓ 目的地→	勤務先	学校	市場	スーパー	店舗
自動車	31.1	1.3	9.9	9.6	19.5
バイク	46.2	5.0	28.3	17.5	19.5
都市バス	19.7	.4	48.9	42.2	47.2
バイク後部座席			.4	.4	.5
人力車	.7		.4	2.8	4.6
徒歩	1.7	93.3	11.2	26.7	8.7
その他 (自転車、汽車、等)	.7		.9	.8	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

現在の所、自家用車は主に通勤に使用され、購買行動には都市バスが多く利用されている。

表 13：地区別ガソリン消費量

地区	N	最小	最大	平均
A1.公園サリジャディ園地	20	2,00	120,00	39,35
A2.公園アンタパニ園地	32	11,00	200,00	61,11
B1.公園ハルジャムクティ園地	71	0,00	180,00	32,15
B2.グリヤ・スニャラギ・ブルメイ園地	32	10,00	120,00	33,47

ガソリン消費量、支出に関しては、記憶に基づく聞き取り調査であるため、目安としての数値でしかないが、有効な回答は、自家用車を保有し、消費量を意識している回答者であるとすれば、保有率の高い **Antapani** においては、月 61L、毎日 2 L 程度のガソリンを消費しており、CO₂ 排出量に換算すると、月 150kg 程度に相当する。これは、調査した中での高い所得層における電力消費による排出量を少し上回る程度の排出量となっている。

(2-2)光熱：敷地内生活における燃料・エネルギー使用

a. 電力使用

インドネシアでは、電力消費量は急速に増加しており、これには、各家庭における電灯・テレビ・クーラー等の電気製品の普及と電力消費急増が大きく寄与している。家庭における電力消費に伴う排出は、実際には発電所などで生じる間接的排出であるが、この削減のためには、住宅・都市の形態も関わっている。

将来を考えるとクーラーの普及等は大きな選択肢となるであろう。即ち、自然換気を維持しつつ、屋根・天井・壁等の断熱を高めていく方向と、アルミサッシュ等により気密性を高めつつ、クーラーの効率を高めていく方向である。

照明に関して現在、省エネ型の電灯の普及が図られており、一部はCDM事業として検討されている。また、発電所の排出量削減策も CDM 事業として検討されている。

表 14：全国セクター別電力諸費量の推移(単位：GWh)

セクター	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
累計	22.739	24.866	26.884	30.563	33.340	35.836	37.775
家庭用	7.250	8.667	9.330	10.576	11.395	11.845	13.224
工業	30.709	27.985	31.338	34.013	35.593	36.831	36.497
その他	3.554	3.743	3.780	4.012	4.192	2.576	2.945
合計	64.252	65.261	71.332	79.164	84.520	87.088	90.441

出典：国営電力公社

単位電力当たりの CO₂ 発生量は、下記のように推移している。

表 15：全国電力需要と CO₂ 排出量の推移

年	発電量 (GWh)	CO ₂ 排出 (百万 Ton CO ₂)	CO ₂ 排出係数 (kg CO ₂ /kWh)
1990	32,293.2	24.20	0.749
1991	37,290.5	28.04	0.752
1992	39,422.6	30.05	0.762
1993	38,608.0	26.52	0.687
1994	44,668.5	34.21	0.766
1995	52,832.4	35.34	0.669
1996	57,523.5	54.69	0.951
1997	68,924.4	51.10	0.741
1998	74,461.0	50.92	0.684
1999	80,023.8	55.32	0.691
2000	83,503.5	60.07	0.719

出典：国営電力公社及 ESDM 省

世帯当たり電力消費に関しては、所得との関係が大きく、例えばバンドン市に関して以下の結果が得られた。

表 16：所得と電力による排出量 (バンドン市)

月収 (Rp)	有効 回答数	月平均電気代 (Rp)	月平均電力量 (kWh)	CO ₂ 排出量推定 (kg CO ₂ /世帯月)
> 2 百万	30	105 600	198	142.36
1-2	81	87 938	170	122.23
500 千-1 百万	57	64 086	128	92.03
< 500 千	23	57 957	124	89.16

b. 燃料

暖房は不要で、電灯が普及しているため、燃料消費は殆どが炊事用である。都市ガスを用いる場合、LPGを用いる場合、灯油を用いる場合がある。

表 17：燃料種類別排出量（バンドン市＋チレボン市）

燃料の種類	使用量	CO ₂ 排出係数	CO ₂ 排出 (kg/世帯・月)
ガス（都市ガス）	26.36m ³ /世帯・月	2.031kgCO ₂ /m ³	53.54
LPG（タンク）	15.92kg/世帯・月	2.999kgCO ₂ /kg	47.74
灯油	30.90L/世帯・月	2.54kgCO ₂ /L	78.49
LPG と灯油を併用	（各々値）	混合	94.84

燃料消費量は、所得や住宅規模とはあまり関係がなく、燃料の種類による違いが大きい。

電力を通じての CO₂ 排出が、家庭内での燃料消費による排出を上回っており、しかも所得の高い世帯において、電力消費の増大を通じて排出を増加させる傾向にあることは、将来の家計におけるエネルギー消費像を示唆している。

(2-3) 建築材料

建築材料については、ライフサイクルで評価する必要があること、二酸化炭素発生が工場や処分場などの団地外で行われること、等から、直接的排出ではなく、間接的排出であり、現地調査担当者らとシステム境界に関して共通認識を得ることはなかなか難しい。しかし、団地内で建築時点での排出だけに着目すると、次のステップである将来像の検討において、ライフサイクルで環境影響の小さい材料選択が行われないことにつながるため、まずは LCA の考え方を導入するように努めた。

① 方法的検討

本研究においては、LCA に係る材料別の二次資料が存在しないことから、工場調査と、住宅調査の二つのアプローチを用いることとした。

イ. 建材工場における原単位の把握

主要な建材について、慣習的に用いられている単位（面積、体積、重量、個数等）に関して、製造過程で発生する CO₂ の量を把握する。これには、製造時の化学的プロセスでの発生（例えば、石灰岩を焼いて石灰を製造する場合の発生、建築用材が山林で成長する過程での吸収）と、製造に必要な燃料による発生、更には製造に伴う電力消費による間接的な発生等が含まれる。

最終的には、建材の原材料については、廃物利用等もあることから、建材の生産に用いられなかった場合に、どのように処理されているのかも含めて評価を行うこととする。

次に、建材が一定期間、建築物の形で固定された後、廃棄される過程でどのような排出を生じるかを評価する。以上から、建材 1 単位当たりのライフサイクルでの排出量を把握する。なお、日本においては、すでに建材毎のライフサイクル排出量のデータベースが整備されつつある。

ロ. 建築物における建材使用量の把握

住宅などの建築物に、どの建材がどれだけ使用されているかを、住宅の調査を通じて把握する。今回実施した調査では、対象とした各戸に関して、実測調査を行い、建物部位別の建材の種類と量を集計している。更に、増改築が多く見られることから、当初部分と増築部分を分けて把握することとした。対象とした地区の多くは、建て売り分譲の形から出発しているものが多く、当初の住宅の形態は同一で、設計図等が得られる場合がある。これに対して、増築は、世帯毎に異なる形で行われているが、当初の設計が同一であることから、識別が比較的容易である。

ハ. 建物の耐用年数の把握

建物の建築後の年数や、平均耐用年数に関しては、日本における固定資産データのような統計データが無いと、二次的資料による把握が困難である。そこで、調査の中では、建築年、増改築年等に関する項目を含めた。但し、対象地区は、まだ開発後・築後の経過年数が浅く、当初部分を完全に除却した建替えの事例は少ない。便宜的に 15 年と仮定した。

以上により、

$$\text{月当たり排出量} = \sum \left(\text{建材量} \times \text{排出量原単位} \right) / \left(\text{耐用年数} \times 12 \right)$$

建材毎

として、表 2 に示した、炊事や交通と比較・合算可能な次元での排出量が算出できる。

②調査結果

イ．製造過程の調査

建材工場に関しては、工場に関する調査を行い、製造過程で使用する燃料使用量に関して、以下の数値を得た。

<1>セメント

日本では 1 トンのセメントを製造するために、0.7 トン程度の CO₂ を排出しているが、インドネシアでは、熱効率の違いから 0.9 トン程度を排出していると思われる。

日本では、ポルトランドセメントの場合、1 トンの製品を製造するために、1.1 トンの石灰石、粘土 0.2 トン、その他 0.1~0.2 トンを投入する。排出量の内訳は石灰石が分解する化学反応によるものが、0.449、化石燃料によるものが、0.334 である。

コンクリート中に含まれるセメントの量は、調合に依存するが、1 立米中に 250kg 程度のオーダーである。

<2>煉瓦

煉瓦の製造方法は地域により異なっている。

ジャワ島では、粘土を成型し、草葺屋根を架けた地面に粗く積み上げた間に初殻を入れてこれを燃やす。スマトラ島では薪焚きの窯が多い。Nagrek および Sapan の 8 工場を調査した結果、1 回の焼成で、2~3 万個の煉瓦を焼くために、米袋で 300~400 袋、重量で 6,000~8,000kg の初殻を燃やしている。実験装置を有する陶器工場にして、初殻単位重量の発生 CO₂ 量を計測した結果、初殻 1g 当たり 0.24g の CO₂ を排出することから、1 個当たり 70g 程度の排出と考えられる。但し、初殻は煉瓦製造に使用されなかった場合には廃棄（腐敗・焼却）されていると考えられ、またそれ自体が生物起源であるため、このような素朴な方法で製造されている煉瓦の環境負荷はゼロと評価し、計算には含めていない。

煉瓦 1 個は、60×120×230mm 程度の寸法であり、壁は単層で、目地も含めて、1 m² 当たり煉瓦 80 個程度が使用されている。煉瓦の重量は 1,200g 程度である。

<3>瓦

瓦を製造するためには、煉瓦よりも高い技術が必要とされ、かつ長距離の輸送に適さないことから、ジャワ島以外ではまだあまり普及しておらず、輸送の容易な波形鉄板が普及している。西ジャワ州ジャティワングの 8 工場を調査した結果、全て薪を燃料としており、1 枚当たり 0.0014m³ の薪を燃やし、183g の CO₂ を排出する。

<4>タイル

タイルは、広く用いられている。これは工場により製造されており、化石燃料が用いられていることから、環境負荷は大きい。工場調査の結果、灯油で焼成しており、300×300×6 のタイル 1 枚当たり灯油 0.6L、CO₂ に換算して 1.61kg という結果が得られている。

<5>木材

木材は、ストックとしては乾燥重量 1 トン当たり、約 0.5 トンの炭素を含有し、二酸化炭素に換算すると 1.8 トンに相当するとされる。比重は樹種により大きく異なる。製材、輸送等に係る排出、および製材の歩留まり等は未詳である。成長が速く軽いローカルな木材と、主にカリマンタン島産の硬質な木材が目的に応じて併用されている場合が多い。

<6>鉄筋

煉瓦造戸建て住宅の補強柱等に使用される鉄筋は殆ど再生材であり、正規の工場の一隅で隠れて密かにインフォーマルに製造されている場合が多く、今回の工場調査は困難であった。また、住宅調査においても、柱の中に隠れている材料の実際の数量を把握することは困難であった。

ロ．住宅調査

戸別調査においては、100 分の 1 の実測図（平面図）を各住戸に関して作成し、これに天井高、軒高、棟高に関する実測値を記入した。床、壁、天井、屋根に関しては、それぞれの材料を記入した。集計に当たっては、粗集計では、室の種類別に、延床面積と、基礎・床・壁・天井・屋根の材料をコーディングした。室の種類は、テラス、舗装された空地、隣家との界壁、接客室、居

間、食事室、寝室、厨房、基礎、浴室、倉庫、車庫、池、その他に分類した。

バンドン及びチレボンの各2団地に関して、床、壁、屋根の材料別の普及シェアを、室単位で表18～20に示す。

床は、土間コンクリートの上に仕上げとしてタイルが用いられる。壁は煉瓦が卓越している。屋根は瓦、アスベストが用いられている。鉄板葺はジャワ島では少ないが、スマトラ、スラウェシでは支配的である。他に、天井、建具等も同様の方法で把握した。

表18：床の材料シェア（使用室数）

材料別使用数	バンドン	チレボン
磁器タイル	1006	1171
セメントタイル	222	93
セメントタイル + PCタイル	17	8

表19：壁の材料シェア（使用室数）

材料別使用数	バンドン	チレボン
煉瓦	1633	1242
コンクリートブロック	132	301
コンクリート/コンクリートブロック	22	30
木材	8	75
煉瓦/ハードボード	6	1

表20：屋根の材料シェア（下の室数）

材料別使用数	バンドン	チレボン
瓦	652	705
アスベスト	373	1,240
鉄板	10	5

③ストック効果

現在の住宅の床面積は、入居者による増築により、分譲時点の面積よりかなり大きく拡大している。各団地の当初平均床面積と、現在の築後年数・平均床面積の関係を図4に示す。

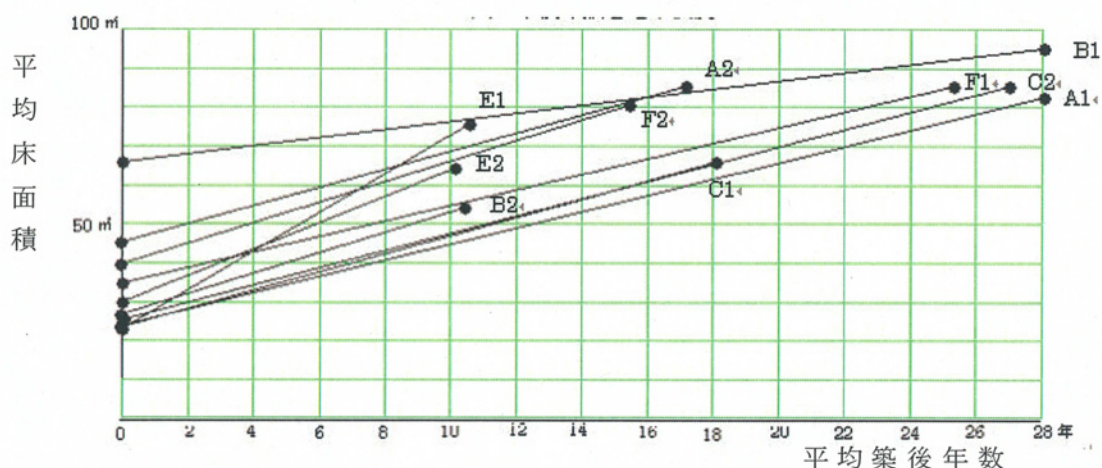


図4：築後年数と増築状況（記号は表4の団地を示す）

年数経過と共に増築面積は次第に拡大していくが、団地平均では100 m²以内で頭打ちとなる傾向にある。これは将来像検討の与件となる。割合としては増築部分の面積の方が既に当初面積よりも大きい場合が多い。従って、上記の材料に関しても、壁に煉瓦が多用されるなど、当初の部分に比較して増築部の影響が大きくなっている。

現地実測調査においては、例えば壁の煉瓦の個数を直接数えることは困難であった（多くの場合、漆喰などの仕上げが塗られ、煉瓦そのものは隠れている）ため、煉瓦壁について面積1平米当たり 80 個程度という標準的な施工方法に基づいて、個数を推定する方法を用いた。

2. (2)で述べたストック効果について見ると、36 m²タイプの積算資料から拾うと、床面積平米当たり 21kg 程度の木材（小屋組等）、また構造 RC 部材に 31kg、壁の仕上モルタル等に 17kg 程度のセメントが使用されている。これから増築後 90 m²程度の煉瓦壁の住宅について試算すると、木材で+3.4tCO₂、セメントで-1.9tCO₂程度の戸当たりストック効果があることとなる。

④流通過程の調査

バンドン市及びチレボン市に関して、建材工場の空間的な分布を調査し、輸送距離に関する検討を行った。



図中の記号の説明（A～Fは、バンドン市内に入る主要街道）

A：北方（スパン）より＝木材、竹材、火山灰

B：東方（チレボン、スメダン）より＝砂、木材、煉瓦、瓦、セメント

C：東方（ガルート、タシク）より＝砂、煉瓦、木材

D：南方（チウィデイ）より＝煉瓦、木材、竹材、レディミクストコンクリート

E：西方（バトゥジャジャール）より＝プレキャストコンクリート、コンクリートブロック、セメント瓦、砂、PCタイル

F：西方（ジャカルタ、タンゲラン、プカシ）より＝石灰、セメント、鉄製品、木材、大理石、瓦、煉瓦、アスベスト、ペンキ等

図5：バンドン市（橙色表示部分）周辺の建材流通経路

- A : 建材全般 (0 ~ 1 km)
 B : 卸問屋 (1 ~ 5 km)
 C : 建材工場 (セメント、煉瓦、瓦)、
 砂・砂利採掘場、製材工場 (5 ~ 25 km)

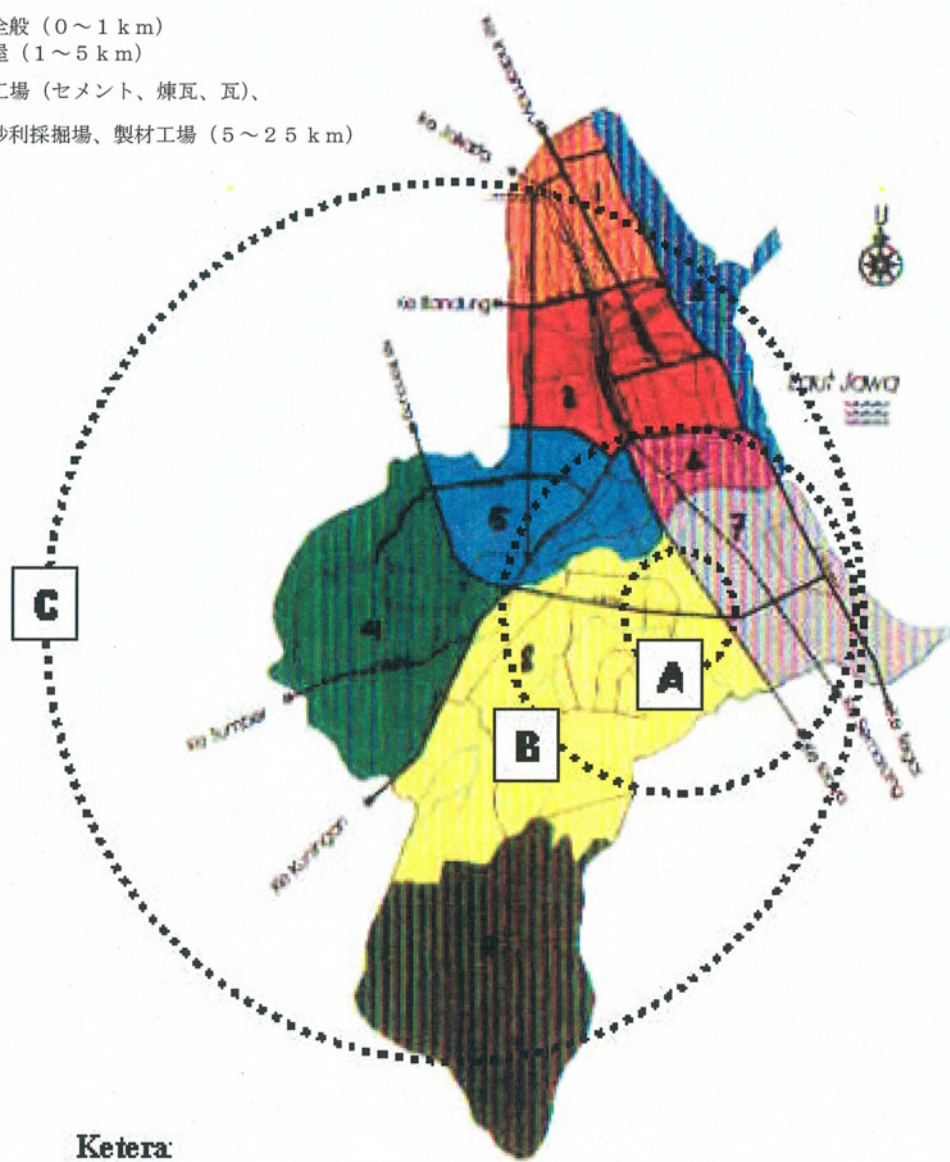


図 6 : チレボン市周辺の建材流通経路

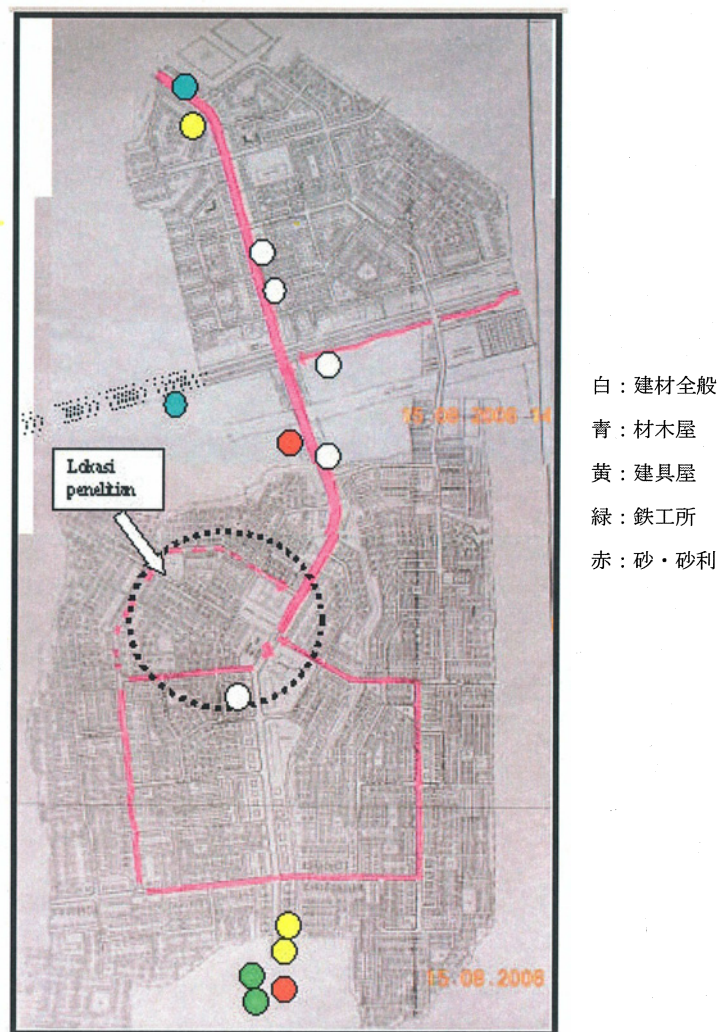


図7：チレボン・グヌン団地周辺の建材店

(3)衛星画像による地形解析

初年度に、バンドン市に関して、現地国土地理院(BAKOSURTANAL)の2万5千分の1地形図(デジタル)から等高線を抽出し、これから地形を生成した。等高線は、12.5m 間隔であり、北側の山岳地形は良く反映されるが、市街地の中を南北に深い谷を刻む川の地形は十分に再現されない。そこで、最近利用可能になってきた、ALOS-PRISM データを利用して、ステレオ画像から地形解析を試みた。この衛星画像は、センサーを前方・真下・後方に向けた3つの角度が利用可能である。空中写真からの標高自動抽出技術は実用化されているが、途上国においては、軍事的利用などから制約が多い。衛星画像から標高を抽出することはまだ試行的な段階である。

バンドン及びチレボンに関して、7.5mメッシュで1mの精度の標高を抽出することができた。

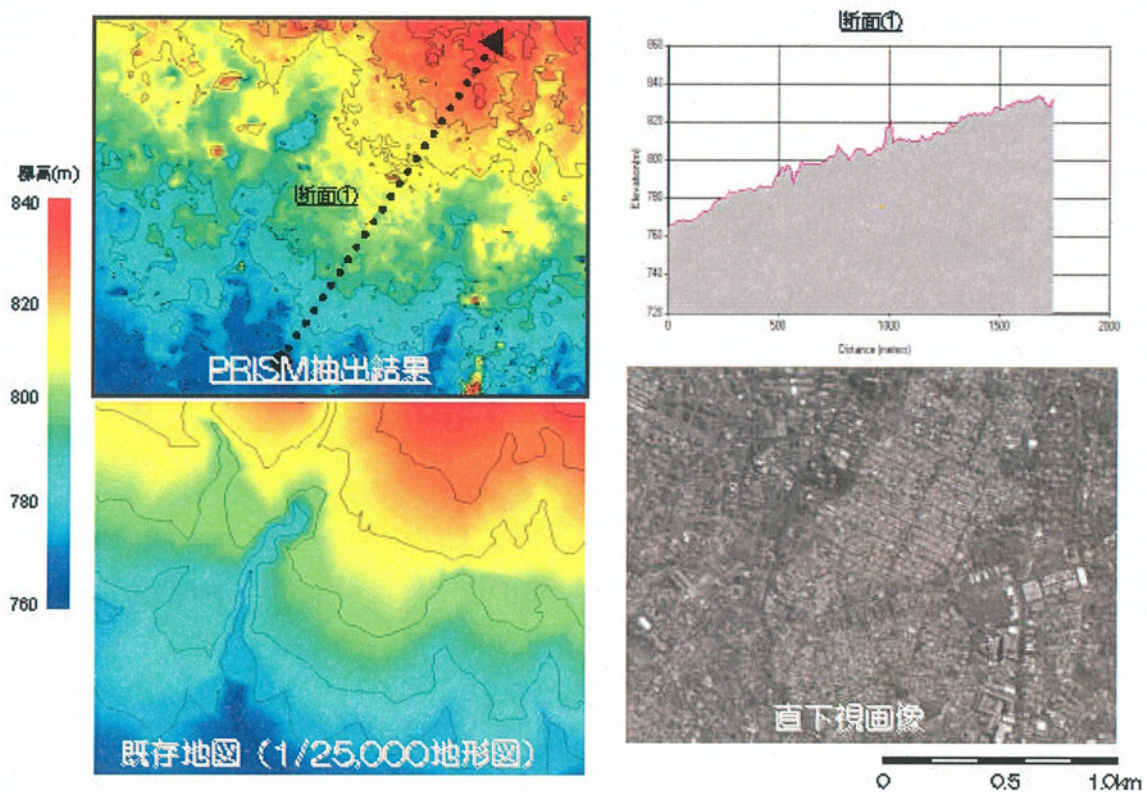


図8：衛星画像解析結果と、既存地図の比較（バンドン市サリジャディ地区）

このデータから、将来像の検討を行うモデル地区とその周辺の地形データを抽出した。

(3-1) バンドン市サリジャディ地区

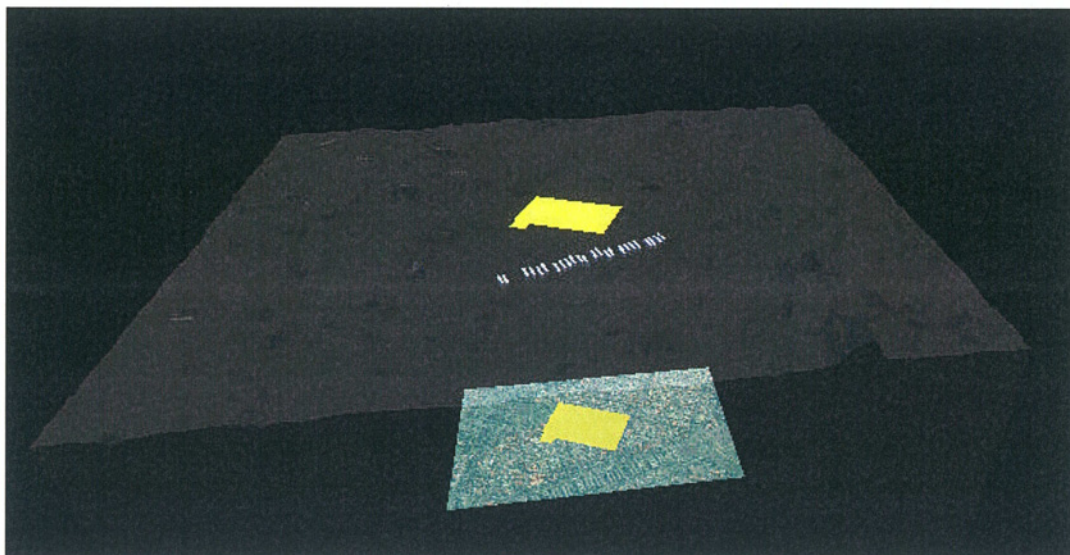


図9：UTM座標に基づき、IKONOS画像から識別した対象地区の部分、地形解析結果を照合する。手前に並んでいるのは、画像から抽出した4階建て集合住宅群。

(3-2) チレボン市グヌン団地周辺

Kontur dari analisis Citra Satellite

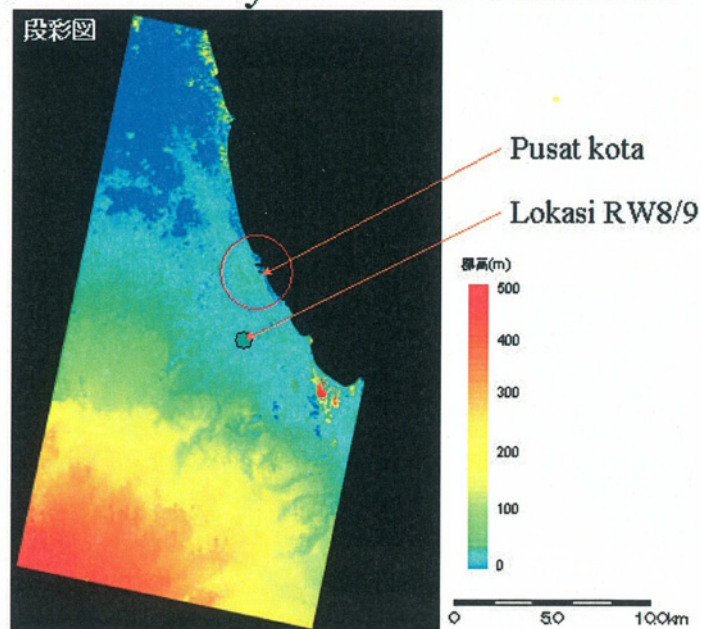


図 1 0 : 解析範囲全体



図 1 1 : UTM 座標に基づく、クイックバード画像の該当地区部分と、地形解析結果の照合

(4)衛星画像による緑被率の分析

住宅地調査の中で、敷地内、街路沿道、公園等の樹木の種類、本数等の把握を試みたが、CO₂吸収量、あるいはC固定量を算出するために必要な数量を把握することは難しい。IPCCのGood Practice Guidanceに引用された、D.Nowak(2002)によれば^{文献)}、樹種により異なるバイオマス成長量(0.2～6.4t/ha/yr)のデフォルト値を2.9としており(米国の都市における計測値)、二酸化炭素吸収量は、 2.9×0.5 (バイオマス中の炭素の重量比) $\times 44$ (二酸化炭素分子量)/12(炭素分子量) = 5.32t/ha/yrである。概ね樹冠の面積に比例している。最終セミナーに参加したボゴール農業大学森林保全学科のエンダス氏(都市の緑地専攻)によれば、現在インドネシアの樹種に関して分析中であるが、単位面積当たりバイオマス成長量はこれよりも遙かに大きな10前後の値であり、特にアカシアのバイオマス成長の速さが着目されているという。

バイオマス成長量(フロー)は、地上で計測できる樹幹の太さよりは、光合成が行われている樹冠の面積と関係している。しかし、樹冠の面積は、上空からでないと把握できない。そこで、衛星画像を用いて、樹冠面積の計測を試みた。

使用した衛星画像は2001年7月17日撮影のIKONOSパンシャープン画像である。解析に際して対象地域を含む2km×1.5kmの範囲を切り出した。図13に使用した衛星画像を、また表21に画像の諸元を示す。なお、幾何補正については実施しないこととした。

表 21:画像の諸元

衛星／センサ	IKONOS／パンシャープン		
撮影日時	2001年5月6日03:13 GMT		
画像解像度	1.0 m		
処理レベル	Standard Geometrically Corrected(デジタルジオ画像)		
観測波長帯	バンド	波長(μm)	種類
	1	0.45 - 0.52	青
	2	0.52 - 0.60	緑
	3	0.63 - 0.69	赤
	4	0.76 - 0.90	近赤外

解析に当たり、CO₂吸収には炭素を長期的に固定する樹木のみが貢献していると考え、植生の内、樹冠部分のみを抽出することを目指した。このため、植生を樹冠、畑、草地、低木に分類し、広いエリアから教師データを取得した上で、スペクトルから識別する方法を試みた。最後に、対象エリアに関して、直接画像から判読する方法を行い、結果を比較検証した。

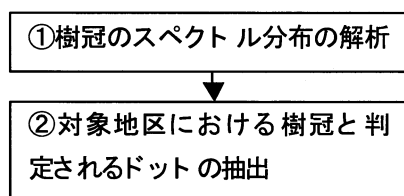


図12:解析フロー

① 樹冠のスペクトル分布の解析

- 画像判読による樹冠、その他の植生の教師データの取得

② 対象地区における樹冠と判定されるドットの抽出

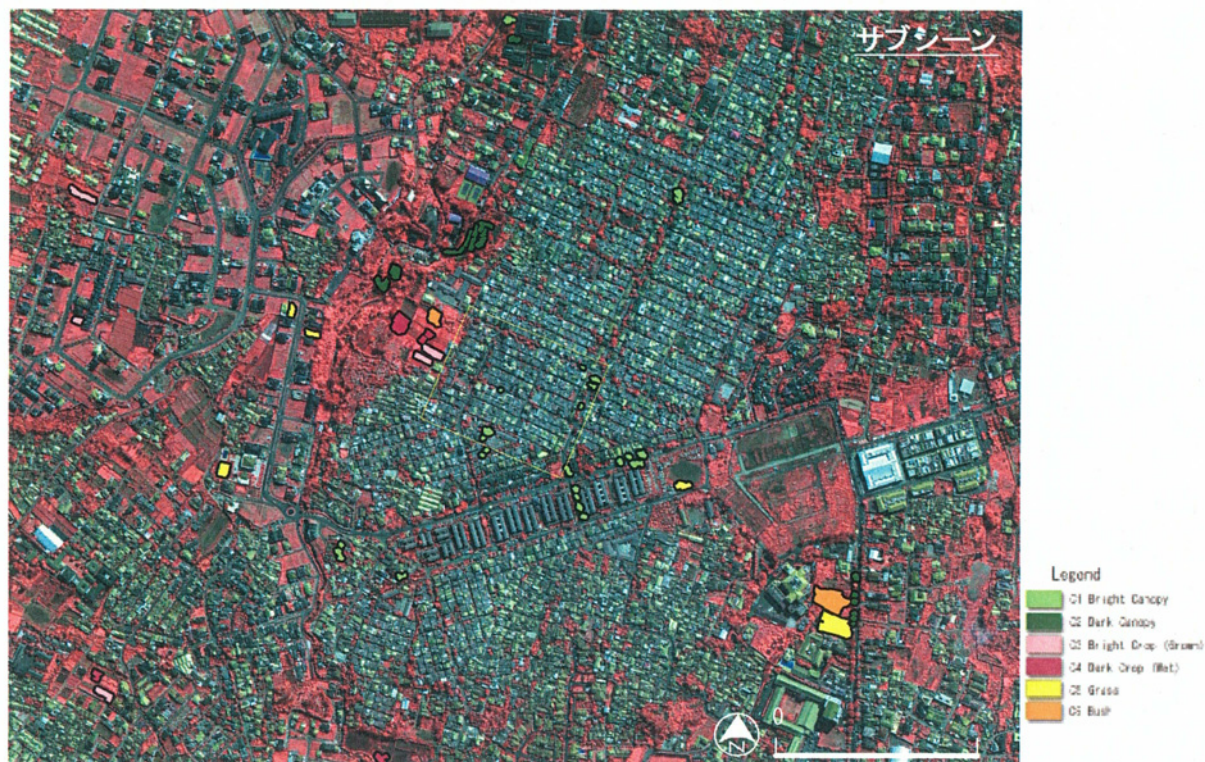
- NDVI（正規化植生指数）の2値化と教師付き分類による植生領域の画像分類
- 画像分類や判読による樹冠領域の緑被率の計測



図 1 3 : IKONOS 画像 (2001 年 7 月 17 日撮影、R:Band3、G:Band2、B:Band1)

(4-1) スペクトル解析

パンシャープン画像からフォールスカラー画像（R:Band4、G:Band3、B:Band2）を作成し、判読により樹冠、畑、草地など 6 項目 56 箇所の教師データを取得した。以下に教師データの取得箇所を示す。



		Number of Polygons	Number of Pixels
C1 Bright Canopy	明るい樹冠	23	2826
C2 Dark Canopy	暗い樹冠	16	3136
C3 Bright Crop (Grown)	繁茂した明るい畑	5	1981
C4 Dark Crop (Wet)	(土壌が)湿った暗い畑	5	1765
C5 Grass	草地	5	3092
C6 Bush	低木	2	2704
Total		56	15504

図 1 4 : 教師データの取得箇所（背景：フォールスカラー画像）

上記の教師データについて平均値のスペクトルパターンを求めた。全て植生であるためいずれも同様のパターンを示すことがわかる。暗い樹冠（C2 Dark Canopy）は明るい樹冠（C1 Bright Canopy）よりも（土壌が）湿った暗い畑（C4 Dark Crop (Wet)）に近いパターンを示す。また、Band1～Band3 は明るい樹冠（C1 Bright Canopy）、繁茂した明るい畑（C3 Bright Crop (Grown)）、低木（C6 Bush）の 3 クラスがほぼ同一のパターンを示すことがわかる。

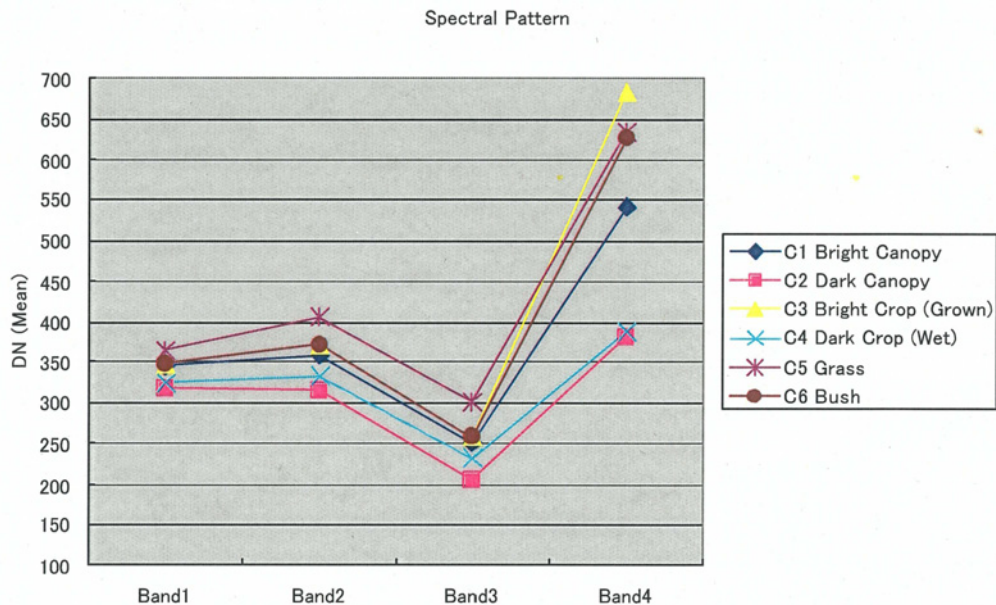


図 1 5 : 教師データのスペクトルパターン (平均値)

表 2 2 : 教師データの平均値及び標準偏差

	平均値(標準偏差)			
	Band1	Band2	Band3	Band4
C1 Bright Canopy	346.5(25.0)	358.2(37.6)	251.0(43.0)	541.7(94.8)
C2 Dark Canopy	319.7(23.7)	316.8(34.1)	204.7(36.5)	382.0(76.3)
C3 Bright Crop (Grown)	347.5(13.4)	371.3(20.7)	258.9(23.5)	682.2(39.4)
C4 Dark Crop (Wet)	325.8(12.1)	332.7(17.1)	233.1(18.0)	389.0(58.6)
C5 Grass	364.6(11.8)	404.9(20.2)	302.5(24.1)	634.8(62.6)
C6 Bush	346.5(25.0)	358.2(37.6)	251.0(43.0)	541.7(94.8)

以下に取得した教師データの例を示す。

・ C1,C2 樹冠

樹冠はフォールスカラー画像上（リニアストレッチを適宜適用して表示）で赤く見える領域のうち、樹冠による影を持つものを取得した。その際、教師データ内には影を含まず樹冠部分のみとなるようにした。また、図に示されるように明らかに樹冠の輝度値（DN 値）が明るいものと暗いものが見られたため、この段階では異なるクラスとして扱い、最終的に樹冠を抽出する際にクラスを統合することとした。

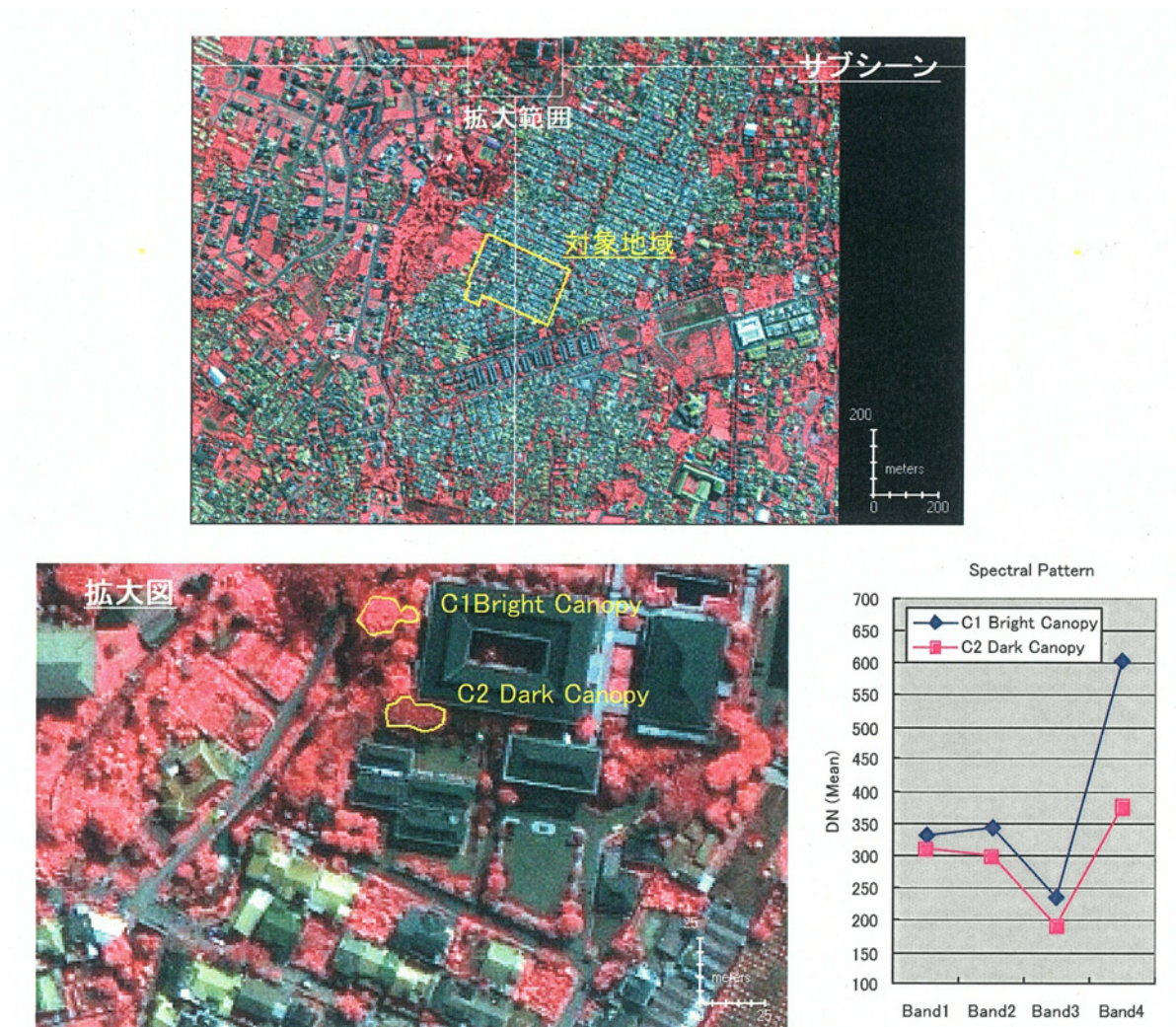


図 1 6 : 教師データの例 (樹冠、背景 : フォールスカラー画像)

表 2 3 : 樹冠の例の平均値及び標準偏差

	平均値 (標準偏差)			
	Band1	Band2	Band3	Band4
C1 Bright Canopy	331.6(19.0)	342.6(28.3)	235.9(33.1)	603.4(74.2)
C2 Dark Canopy	311.2(13.5)	297.5(20.0)	191.3(23.2)	376.0(50.5)

・ C3,C4,C5 畑、低木

畑はフォールスカラー画像上で赤く見える領域のうち、人工的な直線のパターンで区切られている領域を取得した。ただし、図に示されるように明らかに畑の輝度値（DN 値）が明るいものと暗いものが見られたため、前者を繁茂した畑、後者を（土壌が）湿った畑と区別して扱った。低木はフォールスカラー画像上で赤く見える領域のうち、樹冠による陰影はあるが影が大きくない領域を取得した。

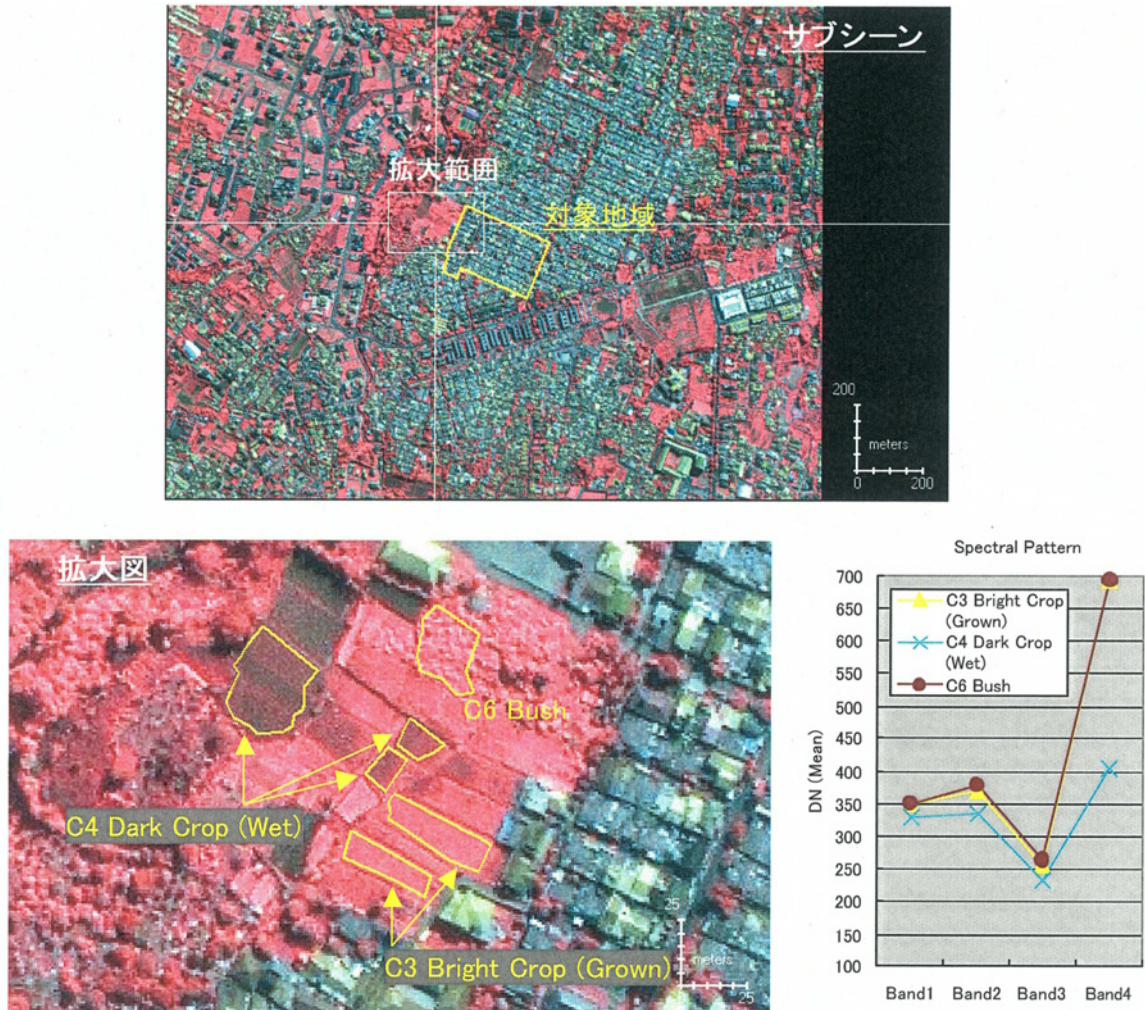


図 1 7 : 教師データの例（畑、低木、背景：フォールスカラー画像）

表 2 4 : 畑、低木の例の平均値及び標準偏差

	平均値(標準偏差)			
	Band1	Band2	Band3	Band4
C3 Bright Crop (Grown)	349.9(10.9)	369.3(16.3)	256.7(19.1)	693.9(33.7)
C4 Dark Crop (Wet)	327.9(8.2)	334.9(12.3)	233.4(13.3)	406.6(51.5)
C6 Bush	350.1(29.4)	377.8(44.1)	263.3(51.0)	692.5(67.8)

・C5 草地

草地はフォールスカラー画像上で赤く見える領域のうち、樹冠や繁茂した畑よりも色が薄い領域を取得した。

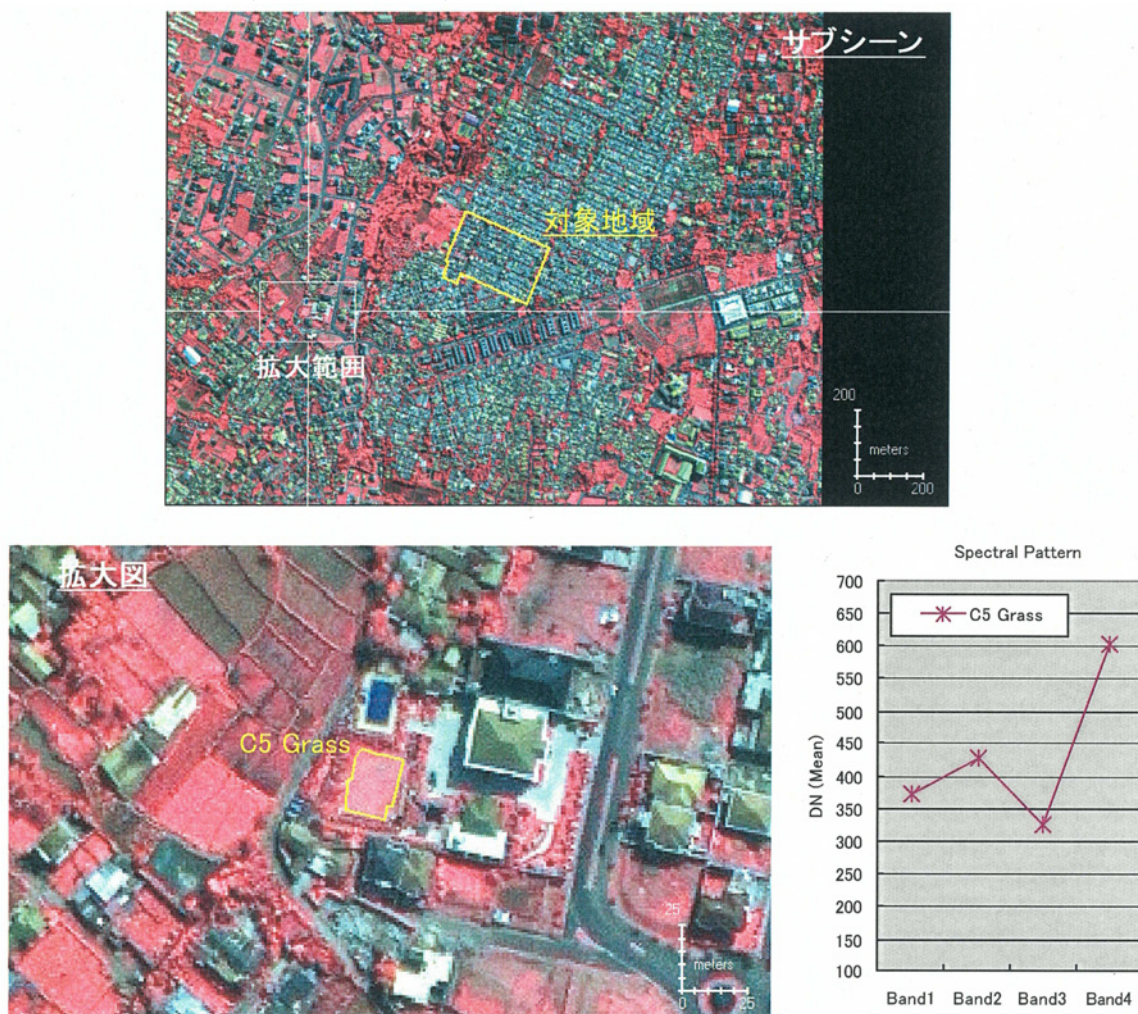


図 1 8 : 教師データの例 (草地、背景：フォールスカラー画像)

表 2 5 : 草地の例の平均値及び標準偏差

	平均値(標準偏差)			
	Band1	Band2	Band3	Band4
C5 Grass	374.3(11.3)	426.6(16.9)	325.8(19.7)	603.1(33.7)

(4-2) 対象地区における樹冠と判定されるドットの抽出

(4-2-1) 植生領域の画像分類

(4-2-1-1) NDVI の 2 値化による植生領域の抽出

本作業では上述のように植生をさらに細かく分類する必要があるので、誤分類を避けるためにあらかじめ非植生の領域を NDVI (正規化植生指数、**normalized difference vegetation index**) の 2 値化により除外することとした。NDVI は広域の植生の分布状況を表すのに用いられる指標で森林では高く、都市では低い値を示す。計算式は以下のとおりである。Band4 (近赤外)、Band3 (赤) はそれぞれのバンドの DN 値を示す。

$$\text{NDVI} = (\text{Band4} - \text{Band3}) / (\text{Band4} + \text{Band3}) \quad \cdots \text{式 (1)}$$

NDVI の 2 値化はヒストグラムから自動的に最適なしきい値を決定する方法 (J. Kittler 他、1986) を使用して行った。具体的には、まず、NDVI 画像全体の平均値と標準偏差を計算するとともにヒストグラムの形から (平均値 - 2*標準偏差) ~ (平均値 + 3*標準偏差) の範囲の実数値を 0~255 の範囲の整数値に線形変換した。計算式は以下のとおりである。 y は NDVI の整数値への変換後の値、Min (= -0.118) は平均値 - 2*標準偏差、Max (= 0.562) は平均値 + 3*標準偏差である。平均値、標準偏差はそれぞれ 0.154、0.136 である。

$$y = 255 * (\text{NDVI} - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min}) \quad \cdots \text{式 (2)}$$

NDVI を整数値へ変換した後、次式により k を $i = 0 \sim 255$ まで変化させて $E(k)$ を最小にする k^* を求めた。

$$E(k) = \omega_0(k) \log \{ \sigma_0(k) / \omega_0(k) \} + \omega_1(k) \log \{ \sigma_1(k) / \omega_1(k) \} \quad \cdots \text{式 (3)}$$

ただし、 $i = 0 \sim 255$, $n_i = \text{レベル } i \text{ の画素数}$, $N = \text{全画素数}$, $p_i = n_i / N$

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sum_{i=1}^k p_i, & \omega_1 &= \sum_{i=k+1}^{255} p_i \\ \mu_0 &= \sum_{i=1}^k i p_i / \omega_0, & \mu_1 &= \sum_{i=k+1}^{255} i p_i / \omega_1 \\ \sigma_0^2(k) &= \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 p_i, & \sigma_1^2(k) &= \sum_{i=k+1}^{255} (i - \mu_1)^2 p_i \end{aligned}$$

上記の計算の結果、整数値へ変換後のしきい値は $k^* = 93$ (変換前の値は 0.130) と求まり、以下の式にしたがって画像を 2 値化した。 y' は 2 値化後の画像の値、 y は NDVI の整数値への変換後の値である。

$$y' = \begin{cases} 0 & (y \leq 93) \\ 1 & (y > 93) \end{cases} \quad \cdots \text{式 (4)}$$

以下に NDVI 画像とヒストグラム、植生領域の抽出結果を示す。

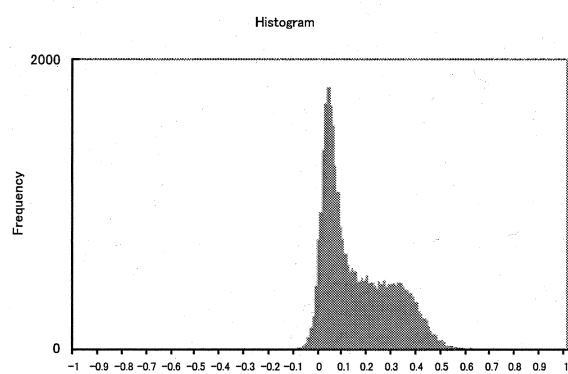


図 2 0 : NDVI 画像と線形変換前のヒストグラム (階級幅 0.01)

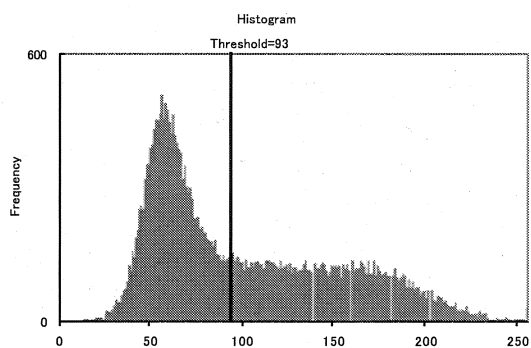


図 2 1 : 整数値へ線形変換後のヒストグラムと 2 値化のしきい値



図 2 2 : NDVI の 2 値化による植生領域の抽出結果（背景：フォールスカラー画像）

(4-2-1-2)教師付き分類による樹冠の抽出

上記で抽出した植生領域について、0において取得した教師データの統計量を使用して最尤法による教師付き分類を行った。分類は次式により、ピクセル毎に 4 次元特徴空間における分類クラス C1～C6（表参照）との尤度 $L_k(\mathbf{x})$ を求め、尤度最大となる分類クラスをそのピクセルの分類クラスと判定した。樹冠は分類クラス C1～C6 の尤度のうち C1 または C2 が最大となるものを樹冠と判定した。

$$L_k(\mathbf{x}) = \{(2\pi)^{n/2} (|\Sigma_k|)^{-1/2}\}^{-1} \exp\{(-1/2)(\mathbf{x} - \mu_k)^t \Sigma_k^{-1} (\mathbf{x} - \mu_k)\} \quad \cdots \text{式 (5)}$$

ただし、 n =特徴空間の次元数（今回の場合は $n=4$ ）,

$\mathbf{x}$ =ピクセル値（ n 次元列ベクトル）,

μ_k =クラス k の平均ベクトル（ n 次元列ベクトル）,

Σ_k =クラス k の分散・共分散行列（ $n \times n$ 行列）

以下に分類クラス C1～C6 の平均ベクトルと分散・共分散行列を示す。 μ_1 , Σ_1 は C1 の平均ベクトルと分散・共分散行列、以下同様に C2、C3…、C6 の平均ベクトルと分散・共分散行列を示す。

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \begin{pmatrix} 346.5 \\ 358.2 \\ 251.0 \\ 541.7 \end{pmatrix} & \Sigma_1 &= \begin{pmatrix} 623.3 & 921.6 & 1049.4 & 1217.0 \\ 921.6 & 1412.8 & 1595.0 & 2091.2 \\ 1049.4 & 1595.0 & 1851.3 & 2266.7 \\ 1217.0 & 2091.2 & 2266.7 & 8989.0 \end{pmatrix} \\ \mu_2 &= \begin{pmatrix} 319.7 \\ 316.8 \\ 204.7 \\ 382.0 \end{pmatrix} & \Sigma_2 &= \begin{pmatrix} 560.3 & 780.0 & 813.7 & 1325.4 \\ 780.0 & 1164.9 & 1221.2 & 2100.9 \\ 813.7 & 1221.2 & 1334.8 & 2180.5 \\ 1325.4 & 2100.9 & 2180.5 & 5821.0 \end{pmatrix} \\ \mu_3 &= \begin{pmatrix} 347.5 \\ 371.3 \\ 258.9 \\ 682.2 \end{pmatrix} & \Sigma_3 &= \begin{pmatrix} 178.6 & 254.6 & 296.5 & 325.3 \\ 254.6 & 427.6 & 477.0 & 444.5 \\ 296.5 & 477.0 & 550.3 & 505.4 \\ 325.3 & 444.5 & 505.4 & 1552.8 \end{pmatrix} \\ \mu_4 &= \begin{pmatrix} 325.8 \\ 332.7 \\ 233.1 \\ 389.0 \end{pmatrix} & \Sigma_4 &= \begin{pmatrix} 147.1 & 194.9 & 181.6 & 424.4 \\ 194.9 & 292.0 & 283.9 & 667.2 \\ 181.6 & 283.9 & 324.6 & 466.7 \\ 424.4 & 667.2 & 466.7 & 3431.0 \end{pmatrix} \\ \mu_5 &= \begin{pmatrix} 364.6 \\ 404.9 \\ 302.5 \\ 634.8 \end{pmatrix} & \Sigma_5 &= \begin{pmatrix} 139.7 & 224.6 & 262.6 & 290.6 \\ 224.6 & 409.6 & 471.9 & 531.7 \\ 262.6 & 471.9 & 580.2 & 549.3 \\ 290.6 & 531.7 & 549.3 & 3919.7 \end{pmatrix} \\ \mu_6 &= \begin{pmatrix} 347.7 \\ 371.6 \\ 258.5 \\ 626.9 \end{pmatrix} & \Sigma_6 &= \begin{pmatrix} 506.5 & 756.9 & 875.7 & 1051.0 \\ 756.9 & 1157.6 & 1324.9 & 1668.6 \\ 875.7 & 1324.9 & 1533.0 & 1843.7 \\ 1051.0 & 1668.6 & 1843.7 & 4412.5 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

以下に分類結果を示す。

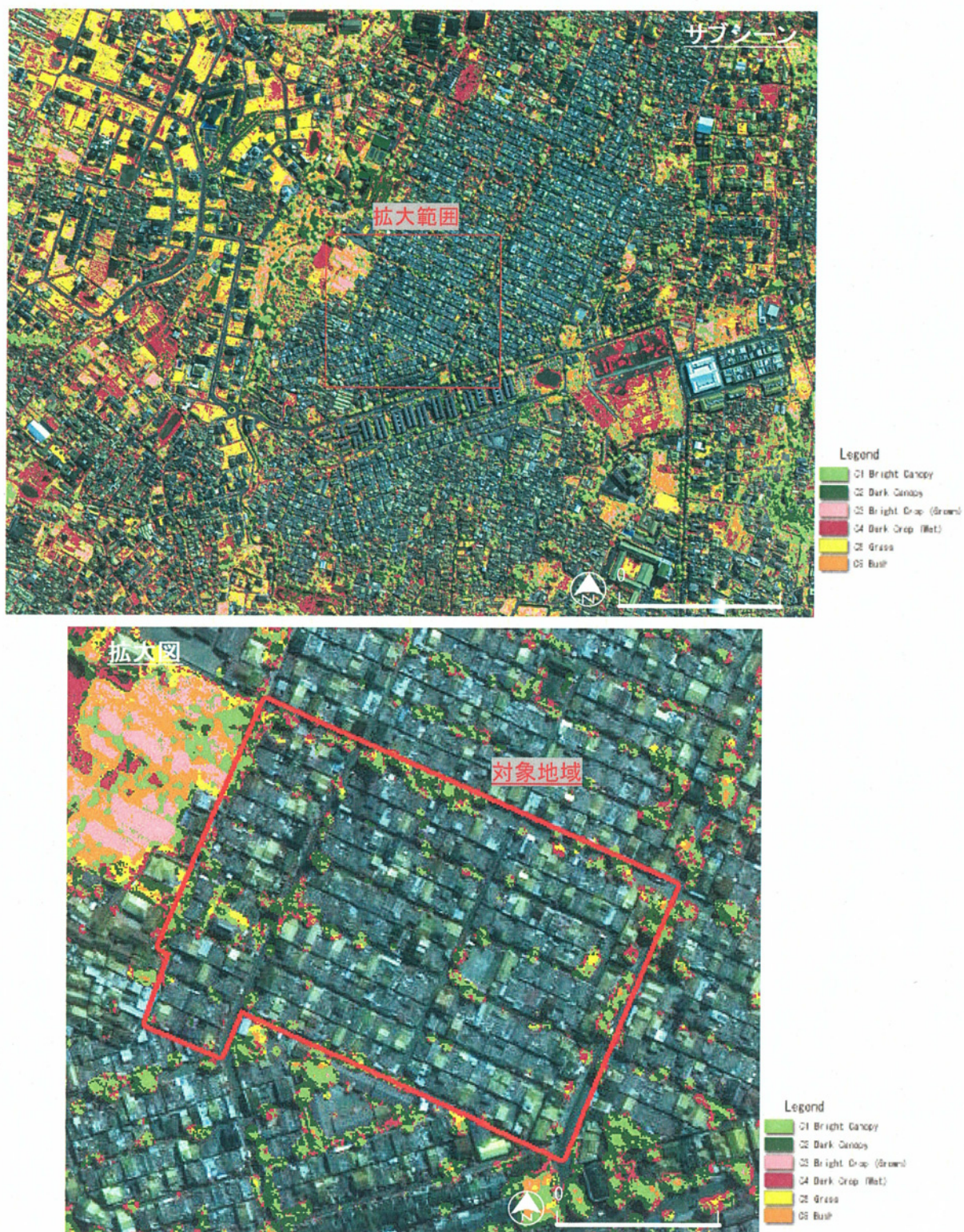


図 2 3 : 教師付き分類結果 (背景 : フォールスカラー画像)

上記の結果は、教師データにおける正解率は 63.6%～89.4%といずれも高い一致を示した。また、分類結果画像においても全体の概略の傾向は合っている。しかし、詳細に確認すると特に明るい樹冠の領域において繁茂した明るい畑（C3 Bright Crop (Grown)）や低木（C6 Bush）、草地（C5 Grass）に誤分類されている箇所が見られる。また、樹冠の暗い領域が（土壌が）湿った暗い畑（C4 Dark Crop (Wet)）に誤分類されている箇所も見られる。

表 2 6：教師データにおける正解率

		Teacher (%)						
		Other	C1 Bright Canopy	C2 Dark Canopy	C3 Bright Crop (Grown)	C4 Dark Crop (Wet)	C5 Grass	C6 Bush
Maximum Likelyhood Classification	Other	55.4%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
	C1 Bright Canopy	10.4%	63.6%	13.0%	2.0%	5.4%	2.9%	5.3%
	C2 Dark Canopy	13.2%	14.4%	72.8%	0.0%	4.0%	0.7%	0.1%
	C3 Bright Crop (Grown)	1.1%	8.3%	0.0%	83.8%	0.0%	6.1%	17.3%
	C4 Dark Crop (Wet)	11.2%	2.9%	10.5%	0.0%	89.4%	1.5%	0.3%
	C5 Grass	6.3%	2.7%	0.6%	4.4%	0.1%	77.9%	3.4%
	C6 Bush	2.3%	8.2%	3.0%	9.8%	1.1%	10.8%	73.8%
Total		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

誤分類の原因としてクラス同士の統計量の類似性が考えられる。以下に示すように、**Band1**～**Band3** はクラス同士の距離が非常に近く、クラス間の違いが見られるのは **Band4** のみと言える。**Band4** においてもクラス同士の分布が重なっているもの（C2 と C4、C5 と C6）については誤分類となる可能性が高いと言える。

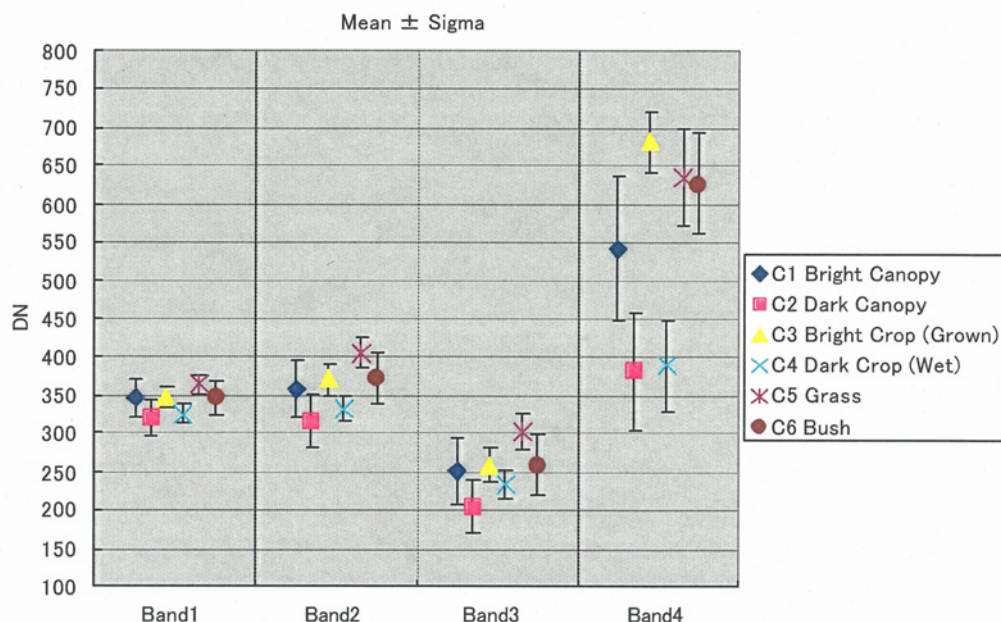


図 2 4：教師データのスペクトルパターン（平均値±標準偏差）

樹冠や畑、草地を特徴付けているものは、各ピクセルのスペクトル情報の他に地物のテクスチャや形状であり、解像度が高い今回のようなデータではスペクトル情報のみで精密に分類することは困難と考えられる。

(4-2-2) 判読による樹冠の抽出

上記の画像分類の結果は樹冠の概略の把握には使用できると考えられるが、画像の解像度(=1m)と同程度の精度が要求される場合には適切でない可能性がある。これはクラスの統計量を使用しないレベルスライスなどの手法を用いた分類でも同様と考えられる。そこで、0に示した樹冠の特徴を判読キーとして画像判読により樹冠を抽出することとした。

画像判読を行うに際して、デジタイズの細かさになるべく個人差が出ないようにするため、画像解像度を擬似的に縦横それぞれ2倍し0.5m解像度の画像で判読を行った。その際、画像のリサンプリングは鮮鋭効果がある **Cubic Convolution** (3次畳み込み) 法を使用した。また、影などで輝度値が低く植生と非植生の区別がしにくい場合は、00に示した **NDVI** 画像を参照して判読の補助とした。判読後は **Nearest Neighbor** (最近隣内挿) 法を使用して1m解像度へ再度リサンプリングを行った。以下に判読による抽出結果を示す。比較のために、上述の教師付き分類の結果から暗い樹冠 (**C2 Dark Canopy**) と明るい樹冠 (**C1 Bright Canopy**) を抽出した結果を示す。両者の概略の傾向は一致するが、判読結果は教師付き分類に見られる過剰抽出(樹冠以外の植生の抽出)や抽出漏れがないデータとなっている。



(a) 教師付き分類による樹冠の抽出結果



(b) 判読による樹冠の抽出結果

図25：樹冠の抽出結果（背景：フォールスカラー画像）

(4-3)樹冠領域の緑被率の計測

上記の教師付き分類および判読による樹冠の抽出結果を対象地域について集計した。それぞれの緑被率を表 2 7 に示す。抽出した樹冠のピクセル数は教師付き分類の方が 595 ピクセル多く、判読による抽出結果の 11.5% 大きな数値を与えた。さらにこれらをクロス集計した結果では、表 (b) に示すように判読結果で樹冠と判定されたもののうち、28.7% が教師付き分類結果では樹冠でないと判定されており誤分類のための抽出漏れと考えられる。また、(c) に示すように教師付き分類結果で樹冠と判定されたもののうち、36.1% が判読結果では樹冠でないと判定されており草地等の誤抽出のためと考えられる。

表 2 7 : 樹冠領域の緑被率

	対象地域の総ピクセル数	樹冠の総ピクセル数	緑被率
教師付き分類による抽出結果	52,028	5,771	11.1%
判読による抽出結果	52,028	5,176	9.9%

表 2 8 : 教師付き分類および判読結果のクロス集計及び一致率

(a) クロス集計

(単位: ピクセル)

		教師付き分類結果		行の総和
		樹冠と判定	樹冠でないと判定	
判読結果	樹冠と判定	3,689	1,487	5,176
	樹冠でないと判定	2,082	44,770	46,852
列の総和		5,771	46,257	52,028

(b) 判読結果内の一致率

(単位: %)

		教師付き分類結果		行の総和
		樹冠と判定	樹冠でないと判定	
判読結果	樹冠と判定	71.3%	28.7%	100.0%
	樹冠でないと判定	4.4%	95.6%	100.0%

(c) 教師付き分類結果内の一致率

(単位: %)

		教師付き分類結果	
		樹冠と判定	樹冠でないと判定
判読結果	樹冠と判定	63.9%	3.2%
	樹冠でないと判定	36.1%	96.8%
列の総和		100.0%	100.0%

(5)モデル地区と代替的将来像の設計

モデル地区は、チレボン市のグヌン団地から、RW08/09 地区を、またバンドン市サリジャディ団地から、RW07 地区を選んだ。

(5-1) チレボン市グヌン団地

海岸に面するチレボン市にあって、既成市街地の内陸側に、住宅公団によって開発された「グヌン」団地の内、RW—08 及び RW-09 の自治会を含むエリアを計画対象地とした。

地区の東側には、主要街路（幅員 18 m）が南北に通る、沿道には市場、役所、学校等の施設が並んでいる。西側は住宅地となっているが、外周に幅員 11 m の街路が巡っており、ここにミニバス路線が通っている。

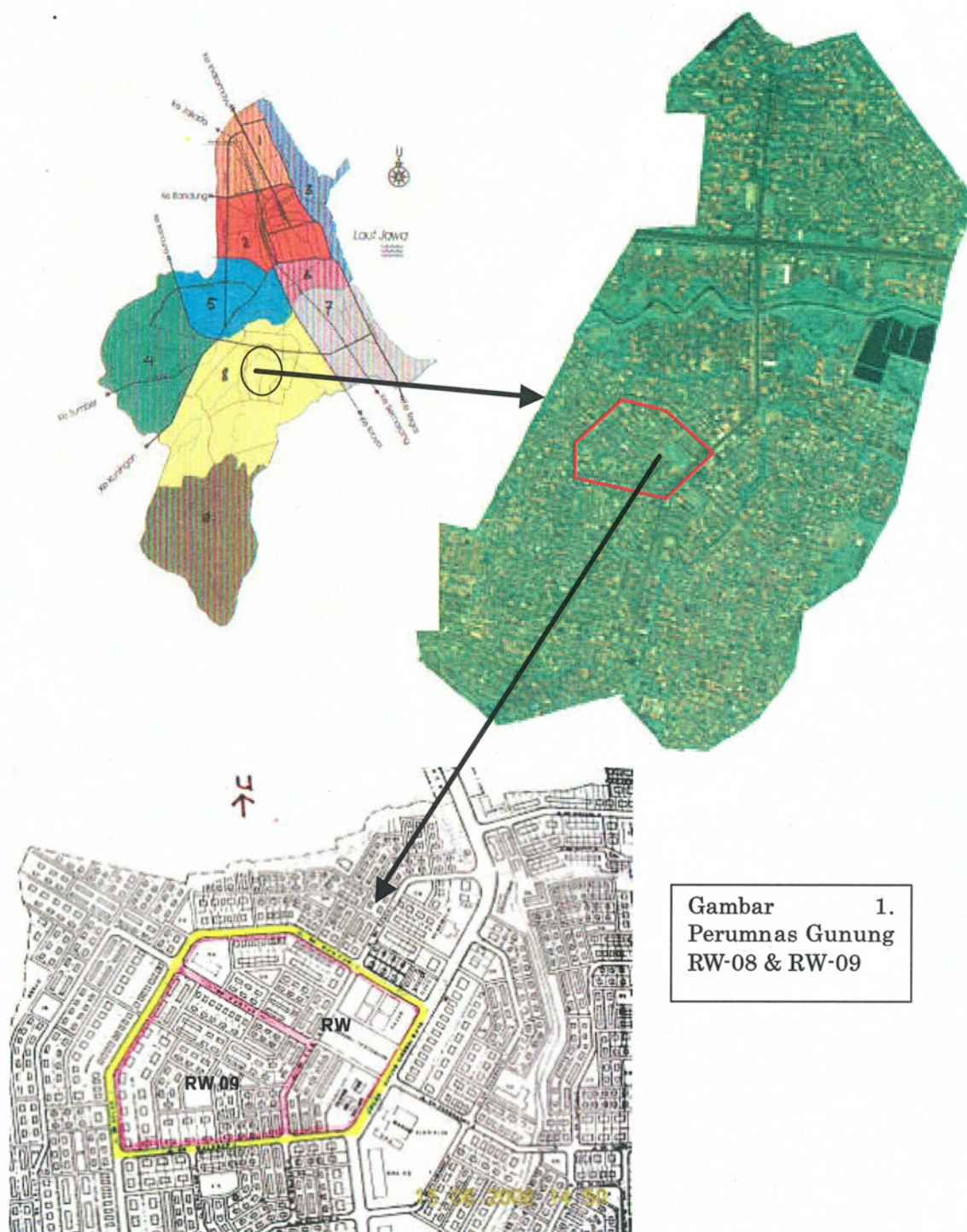


図26：チレボン市モデル検討地区

この地区を含む団地全体の設計は、開発当時、公団からの依頼で、オランダ人建築家が担当したという。住宅は、築後26年程度経過している。検討地区は二つの町内会にまたがり、各町内会

の現況は表 29 の通りである。これらはモデル検討地区を含み総面積 5.47 ヘクタールであるが、が、モデル検討地区のみに限定すると、面積は 4.1 ヘクタールであり、人口 1,090 人、住宅 273 戸である。

表 29：チレボン市モデル検討地区の諸元

	RT (町内会) 数	現住人口	世帯数	住宅数		
				合計	入居	空家
RW 08 – Lingga Asih	4	529	128	221	209	12
RW 09 - Guntur Asih	7	808	221	202	191	11

ALOS 画像のステレオ解析によれば、地区の標高は 8 ～ 16 m 程度であり、南西が高く、北東が低い緩傾斜地である（勾配 2 % 未満）。地区を歩いていて、傾斜はあまり感じられない。



図 27：チレボン市モデル検討地区のクイックバード画像

(5-2) バンドン市サリジャディ団地

バンドン市の西側に位置し、標高が 800m に近い、傾斜地に立地している。計画対象地は、サリジャディ団地の一部を成す、RW-07 地区である。この区域は、単純明快なグリッド状の地割が行なわれており、間口割りも均等である。東側の一行が、表通りに面した商店街になっている他は、戸建住宅地である。衛星画像から見ると、間口は 6.5m、奥行は 15m 程度である。地区全体の面積は、計画時資料とは少し異なるが、衛星画像で計測すると 5.2 ヘクタールである。

バンドン地方の慣習として、敷地の表側の通りと別に、裏側にも幅員 1 m 未満の細いサービス用の通路が通っており、非常時の避難経路等にも機能しうるものとなっている。

この地区は、1980 年前後に、公団による最も早い時期のモデル住宅地として開発された。設計・建設に当たり、建築問題調査所（LPMB）が開発した建築材料が使用された。

当初は、主に 21 m²タイプのコア・ハウス（増築可能型住宅、335 戸）、ごく一部 54 m²タイプ（13 戸）として分譲されたため、子供の成長に対応して、盛んに増築が行なわれたが、現在では、子供も独立し、退職者が多い閑静な住宅地となっている。この間増築が進み、調査時点で平均床面積は 82.16 m²程度となり、敷地全体を建物が覆う形となり、空地・庭が極めて少なくなっている。わずかな空地からのびた樹木が屋根の上に広がっているため、衛星画像から解析した緑被率は 11%程度となっている。

地区の形状は、IKONOS 衛星画像から明確に識別することができる。

ALOS 画像のステレオ解析によれば東が高く、西が低い。地上で観察すると、両側が町並みとなっている東南東から西北西の細長い街路は、東半分がやや急な坂であり、中央から西側は傾斜が緩くなっている。

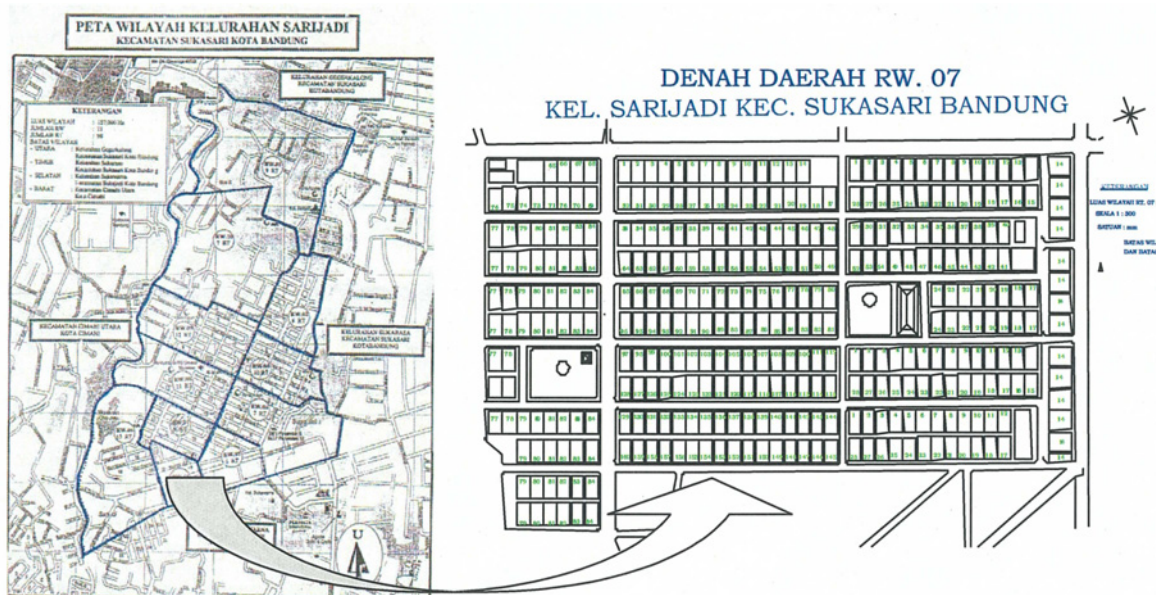


図 28 : バンドン市サリジャディ地区 (RW-07)

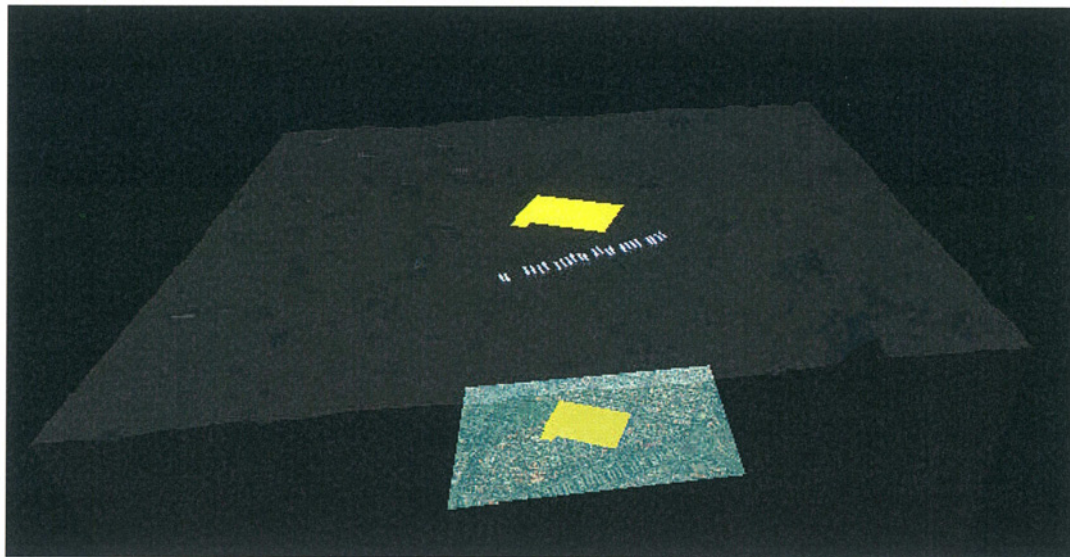


図 2 9 : バンドン市サリジャディ地区付近の地形（下の衛星画像は標高 0 の面）

Tinggi tanah kawasan Sarijadi

Tinggi tanah daerah bervariasi sekitar 14m (792-806m)

Tinggi pada bagian timur-utara, rundah pada

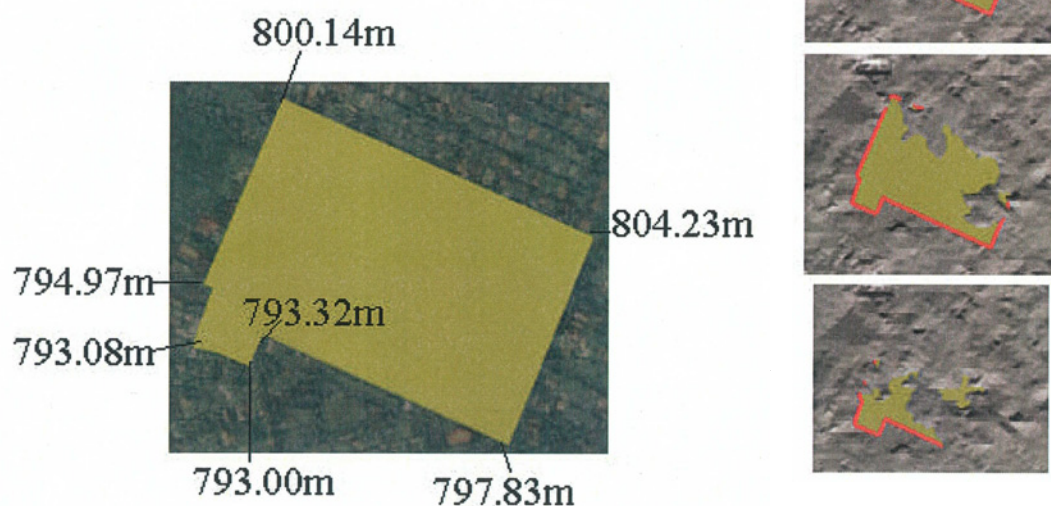


図 3 0 : モデル検討地区内の標高差



図 3 1 : モデル検討地区付近の IKONOS 画像

(6)設計案

2 都市の各地区に関して、それぞれ 3 案の計画を、現地のそれぞれ異なる建築家・都市計画家により設計した。これに、日本側から 1 案ずつの計画を提案し、合計 4 案ずつのオルタナティブとした。これらの計画案は、全て 3 次元データ化し、仮想現実ないしアニメーションとしてプレゼンテーションするように各建築家・都市計画家依頼した。また、仮想現実として表示が可能となるように、国土交通省版「景観シミュレータ」の多言語対応機能を用意し、インドネシア語ベースでデータの編集・表示操作ができる環境を準備した。

(6-1)チレボン市グヌン地区計画案の概要

表 3 0 : チレボン市グヌン地区の代替的計画案の概要

番号、設計者	コンセプト	配置	単体
1. Alief	高層＋低層＋空地	中央高層、周辺低層	メゾネット
2. HK	高層人工地盤	住宅地現状維持、沿道部分高層化	高層
3. Doni	一戸に一本の木	現状維持	二階建て
4. Kukuh	一戸に一本の木	方位変更し東西南北グリッド	二階建て

(6-1-1)チレボン案 1

地区全体を再編成し、周辺部をメゾネット、中央部を高層化により密度を高め、空地・緑地を確保する。

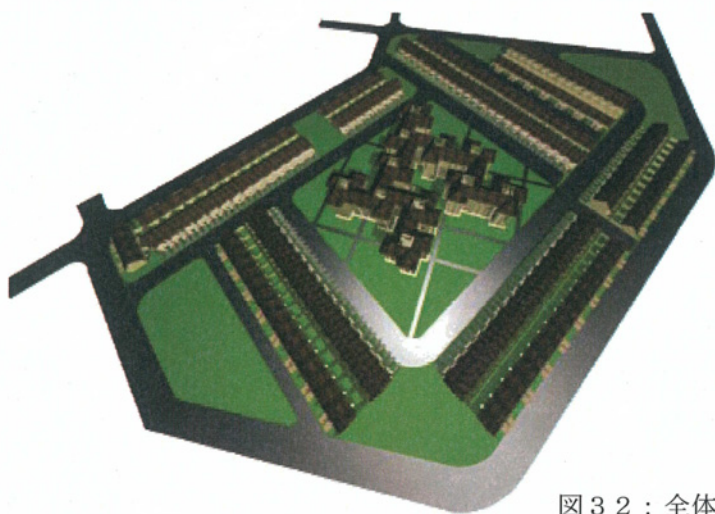


図 3 2 : 全体俯瞰

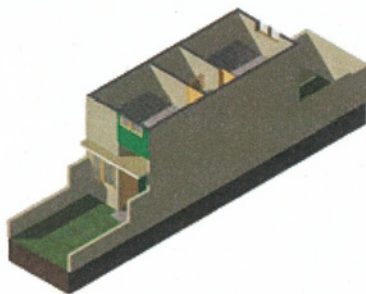
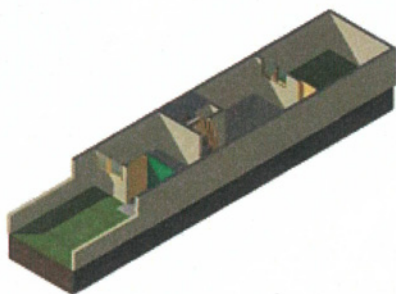


図 3 3, 3 4 : メゾネットの単体

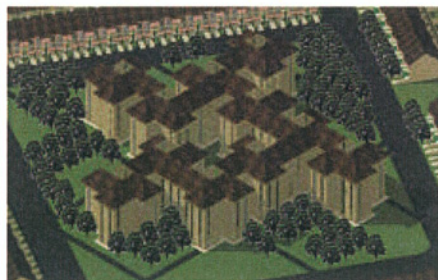


図 3 5 : 中心部の中高層住宅



図 3 6 : 街路からみた地区

(6-1-2)チレボン案2

海面上昇等による沿岸部からの移転者を想定して、現在利用密度が低い沿道部を、住宅・商業・業務を組み合わせ高層化し、屋上を緑化する。

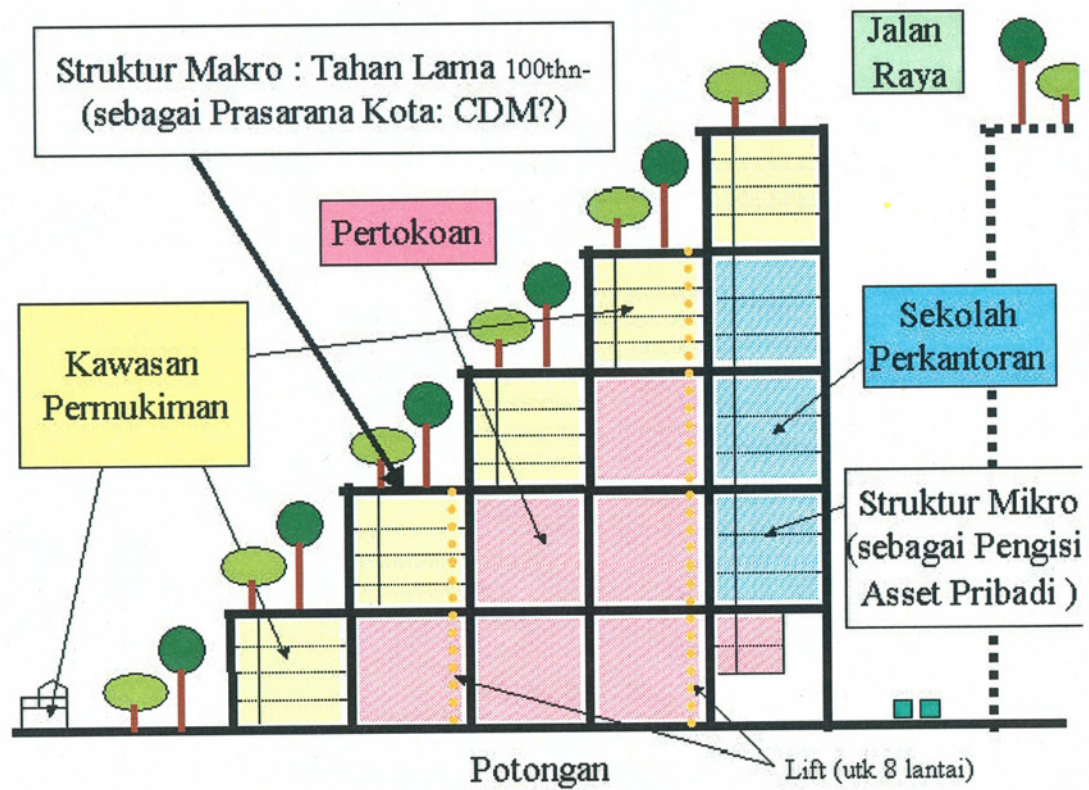


図 3 7 : 計画コンセプト図

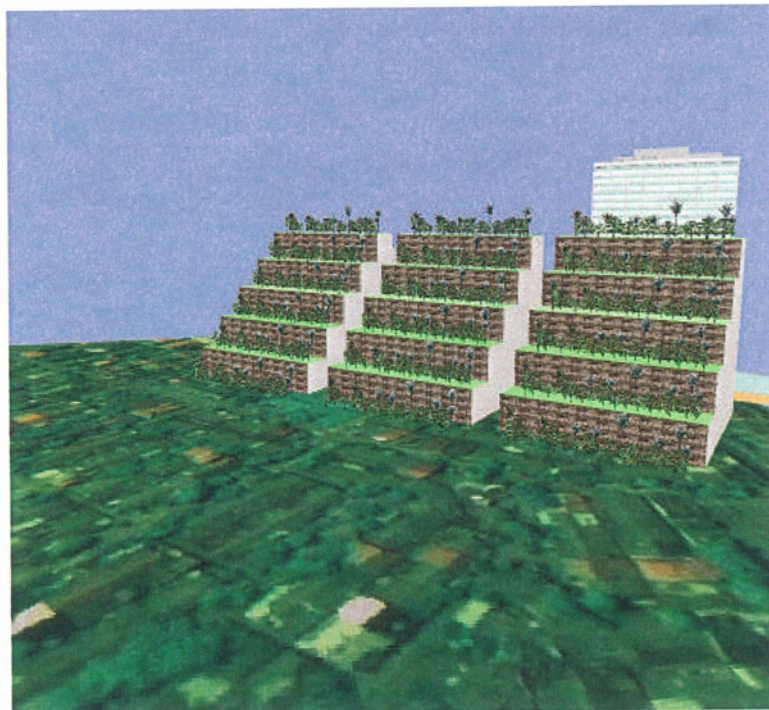


図 3 8 : 透視図



図 3 9 : 屋上緑化

(6-1-3)チレボン案3

各戸に1本の木を植えることのできる中庭型の住宅形式を提案。



図 4 0 : コンセプト図

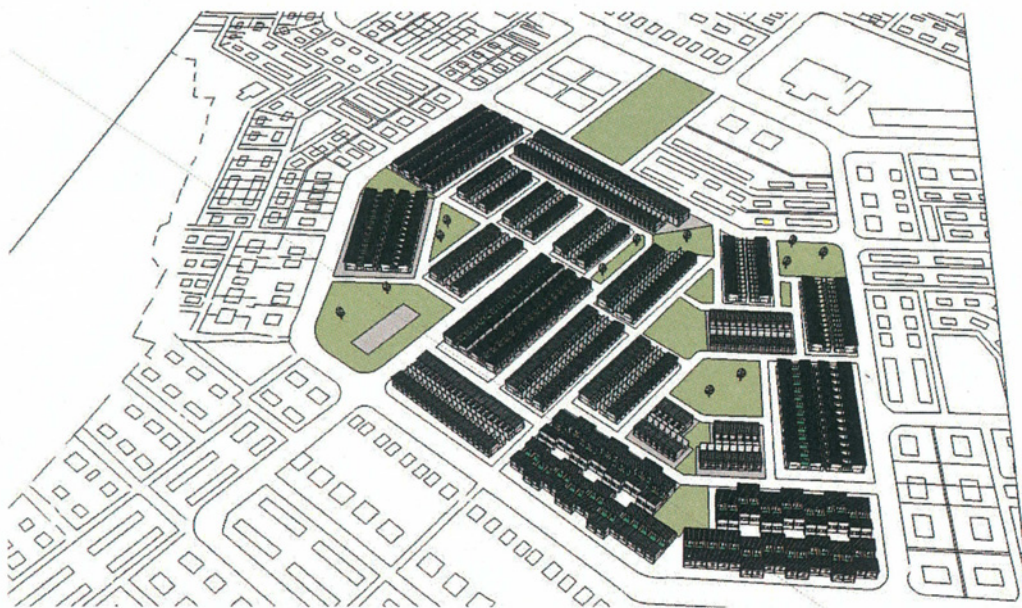


图 4 1 : 俯瞰图

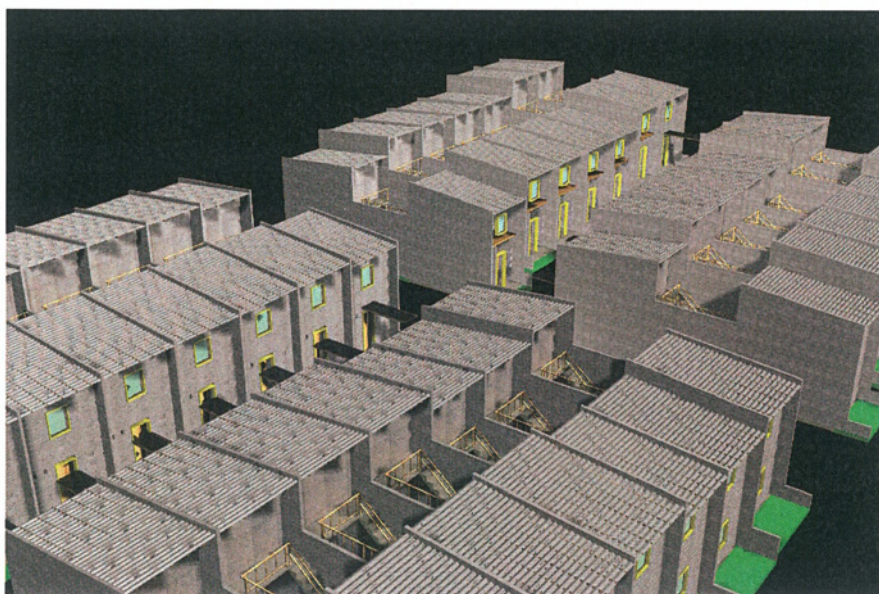


图 4 2 : 3D 画像



図 4 3 : 3 D 画像

(6-1-4)チレボン案4

オランダ人建築家が設計した、湾曲道路による街区構成を再編成し、東西南北の道路割にする。



図 4 4 : 東西南北の街区割

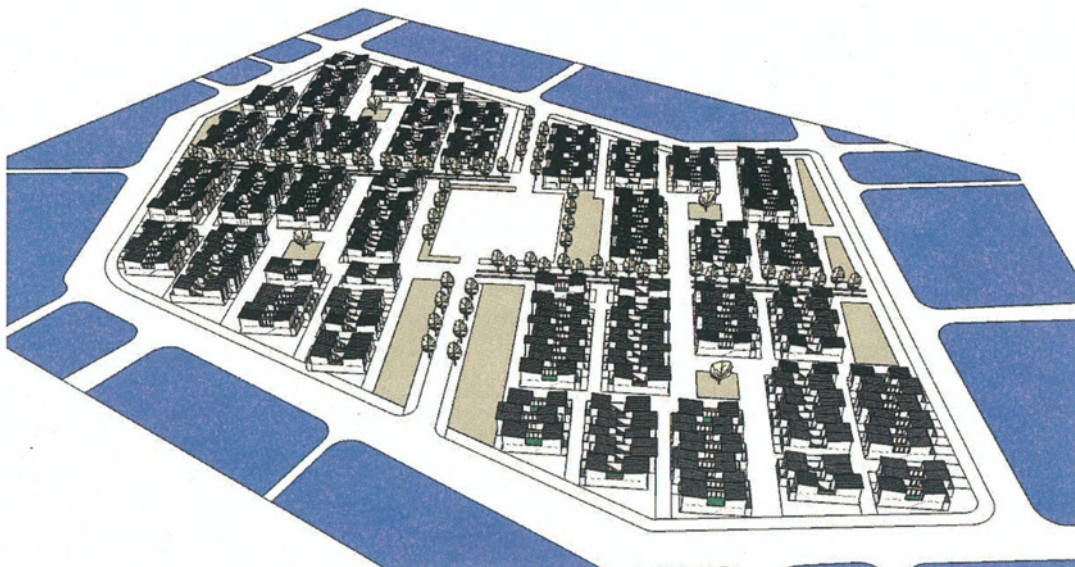


図 4 5 : 俯瞰図

(6-1-5) 排出量予測

表 3 1 : チレボン市 4 案に関する、排出量予測総括表

	現況	案 1	案 2	案 3	案 4	単位
地区面積	54,700 註 1)	54,700	54,700	54,700	54,700	m ²
総戸数	324	364	924	578	344	戸
計画人口	1,090	1,457	3,737	2,312	1,376	人
延べ床面積	39,056	40,616	136,836	35,616	25,420	m ²
住宅床面積	28,836	32,396	72,036	27,396	17,200	m ²
非住宅床面積	8,220	8,220	64,800	8,220	8,220	m ²
総排出量/年戸	2.710	5.419	2.382	4.168	4.226	T-CO ₂
住宅用建築材料 LCE	24.6	15,809	13,488.6	13,369	8.394	T-CO ₂
住宅用建築材料 LCE/戸	1.140	43.4	14.6	23.1	24.4	T-CO ₂
期待耐用年数	15	15	60	15	15	年
年当たり LCE	24.624	1,054	224.8	891	560	T-CO ₂
LCE/戸・年	0.076	2.8	0.243	1.54	1.63	T-CO ₂
LCE/床 m ² ・年	0.00085	0.033	0.0031	0.033	0.033	T-CO ₂
光熱関連排出/年戸	1.891	1.891	1.891	1,891	1,891	T-CO ₂
交通関連排出/年戸	0.751	0.751	0.263 註 2)	0.751	0.751	T-CO ₂
緑地面積	4,814	15,614	25,150	14,944	29,994	m ²
緑地吸収量/年 註 3)	-5.1	-16.6	-26.6	-15.8	-31.8	T-CO ₂
緑地吸収量/年戸	-0.008	-0.023	-0.015	-0.014	-0.046	T-CO ₂
建築材料の炭素固定	324	364	0	0	0	Ton-C

註 1) 現在、沿道の商業・業務部分が 13,700 m²、その裏の住宅部分が 41,000 m²である。案 1、3 及び 4 は住宅部分を再編成する形で、また案 2 は、沿道部分を再開発する形で構想している。

註 2) 案 2 においては、地区の沿道商店部分を高層化した人口地盤に、沿岸部（海面上昇等による消失地域を想定）からの移住人口を受け入れると共に、事務所・商業施設・官庁・学校等も合築した施設とすることを想定している。この部分の人口に関しては、通勤通学などのために日常の自動車利用無しで生活可能と仮定している。

註 3) 植樹された空地面積に、IPCC デフォルト値のバイオマス固定量 2.9Ton/Ha/Yrn を二酸化炭素量に換算した、5.32Ton/Ha/Yr を掛けた。熱帯多雨気候においては、これよりもかなり大きいと考えられる。現在林業関係の研究機関で樹種毎の計測が行われている。この表では、緑地が吸収・固定する酸素量のみを評価しているが、これに加えて、定量的評価は難しいが、団地の外気温を低下させ、将来のクーラー普及による負荷を軽減する効果もあると期待される。

(6-2) バンドン市サリジャディ地区計画案の概要

表 3 2 : 代替的計画案の概要

番号、設計者	コンセプト	配置	単体
1. Arvi	緑化空地の確保	クルドサック	メゾネット
2. HK	ウッドタウン	立体的形態既成、個別更新	木造戸建
3. Sigit	一戸に一本の木	区画整理し、クルドサック	一部中層
4. Sigit	立体的緑化	再開発により立体化	中高層

(6-2-1) バンドン案 1

地区全体を再編成し、クルドサック型の街路パターンに変更すると共に、メゾネット形式の住宅で密度を上げ、空地・緑地を確保する。

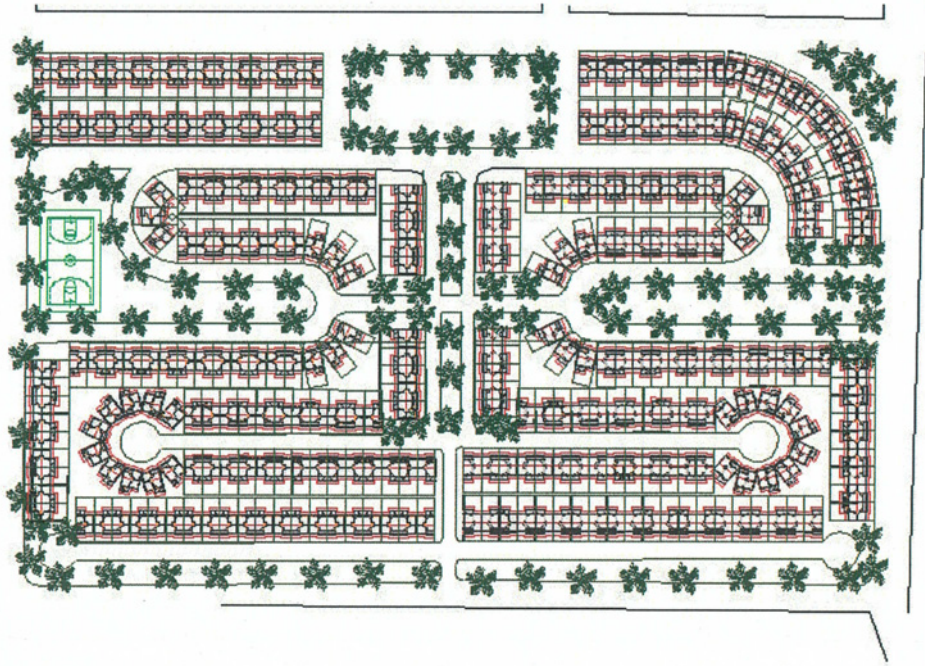


图 4 6 : 配置图

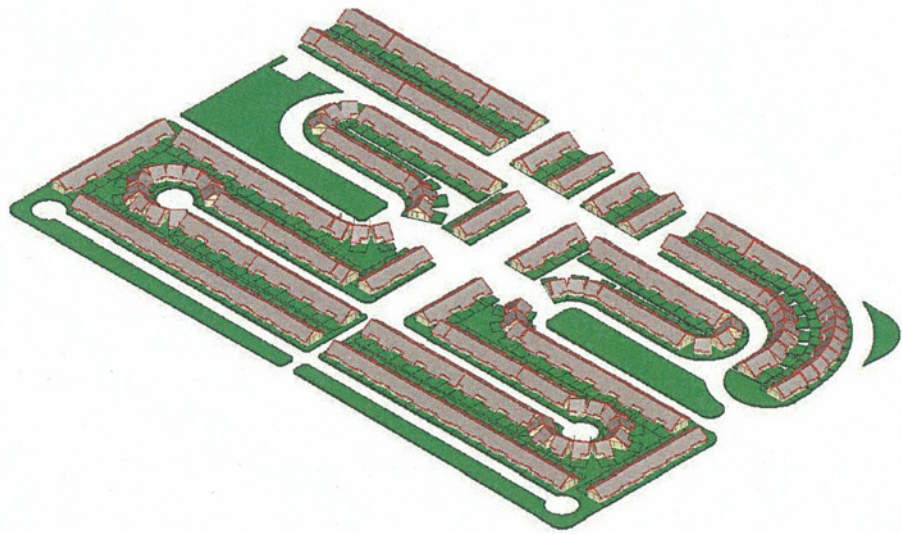


图 4 7 : 俯瞰图

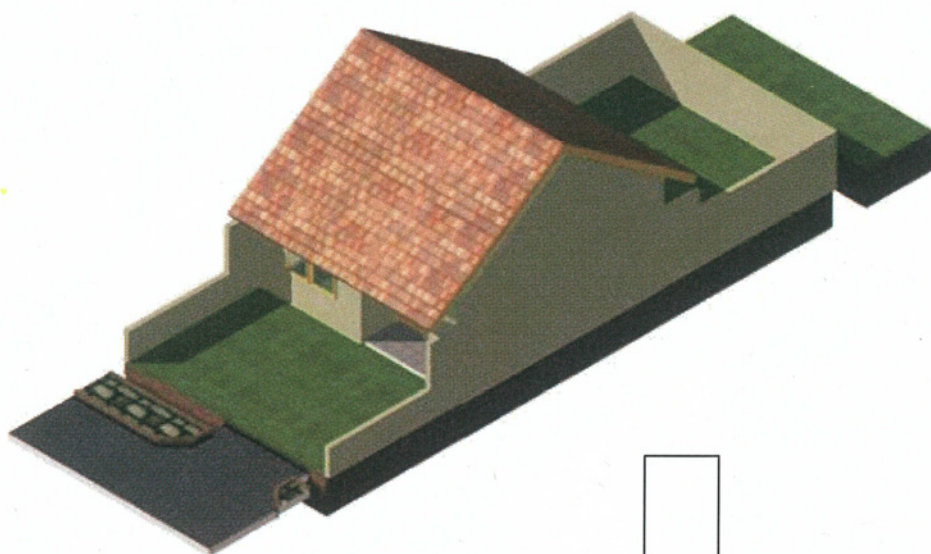


図48：単体（在来型）

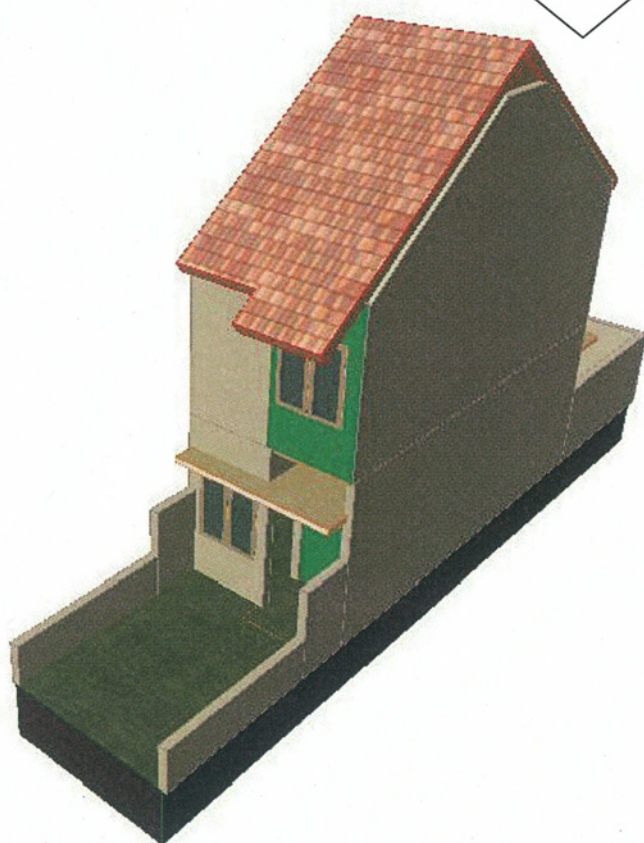
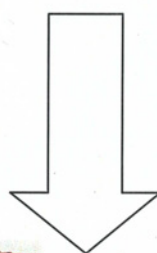
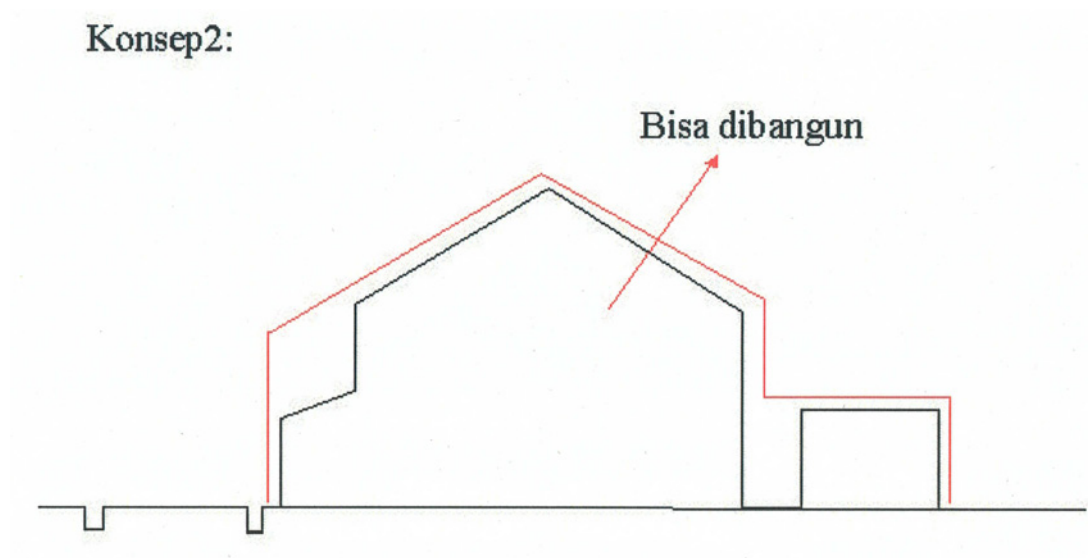


図49：単体（メゾネット）

(6-2-2) バンドン案2

冷涼な気候を活用し、立体的形態既成で通風を確保し、空地を回復して植樹を行い、クーラーのいない住宅形式で個別更新する。冷涼であるため寿命が相対的に長い木造住宅を、植林と連動して建設し、炭素固定を図る。



*** Di Jepang, salah satu bentuk rumah tradisional adalah townhouse, dengan modulus kapling sekitar 6 x 20 m**

図 5 0 : 立体的形態規制

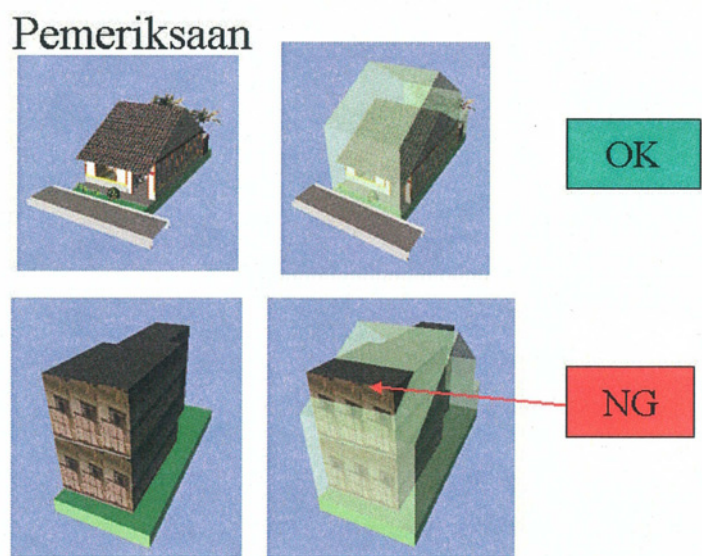
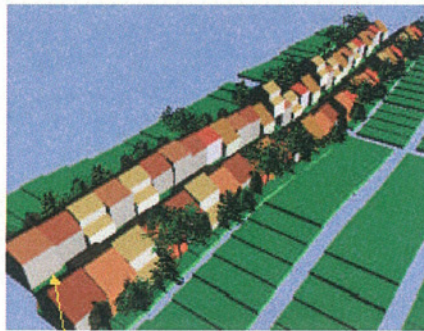


図: 5 1 : 規制に適合する住宅の形

Pemeriharaan lingkungan yang tidak perlu pasangan AC



gang

Satu unit ruang RT



gang

Jalur RTH

Lingkungan

図 5 2 : 規制の結果形成される町並の形

Contoh lantai dasar

Luas lantai dasar : 65 m² + kamar mandi 3m²

Lantai kedua : untuk anak (max 65m²) : jumlah sekitar 140 m²

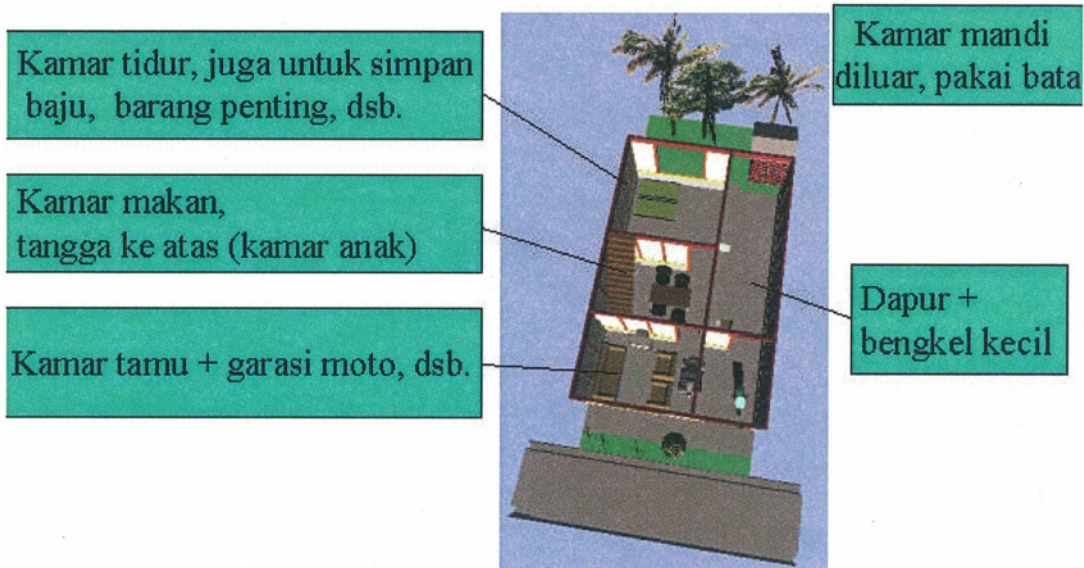


図 5 3 : 住宅単体の例

Struktur

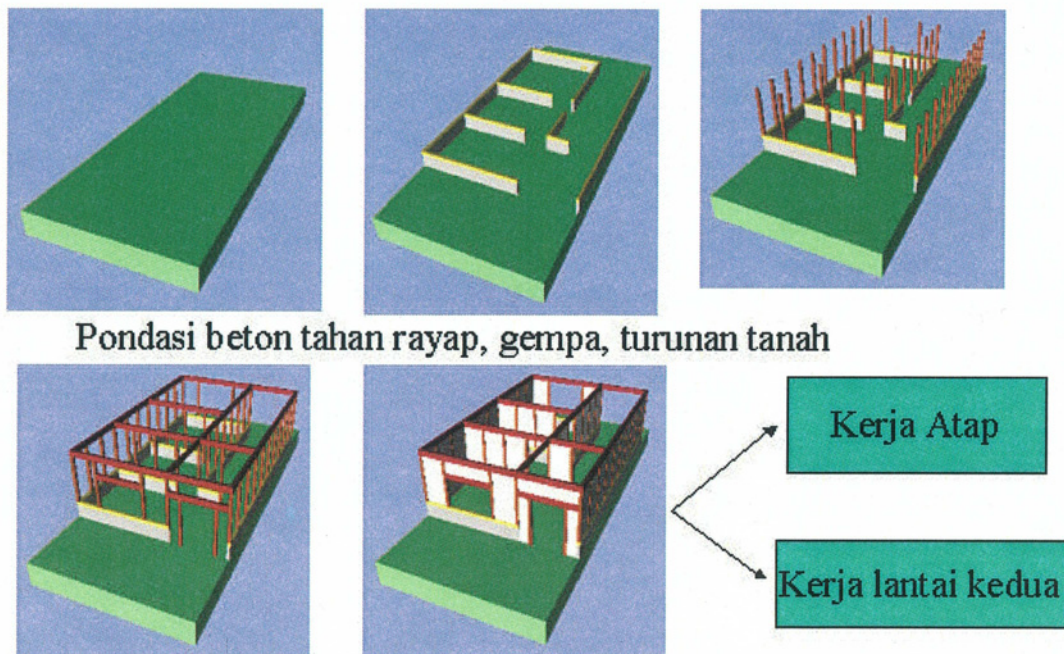


図 5 4 : 木造の架構

(6-2-3) バンドン案 3

一部を中層集合住宅とすることにより、緑化空地を創出する。残りを、クルドサック型の戸建住宅地とする。

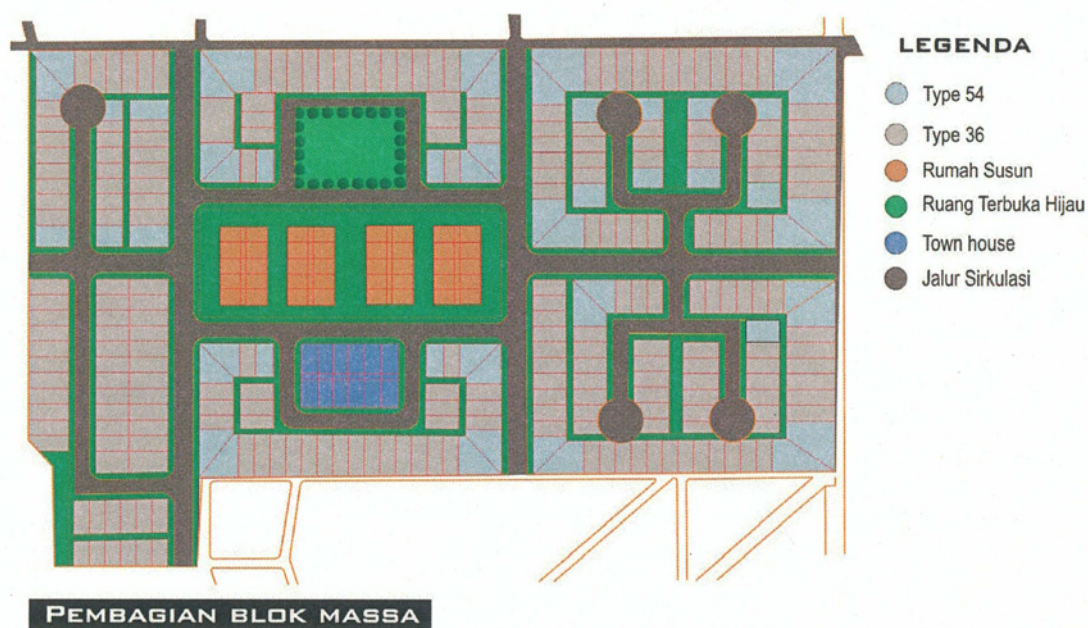


図 5 5 : 配置図

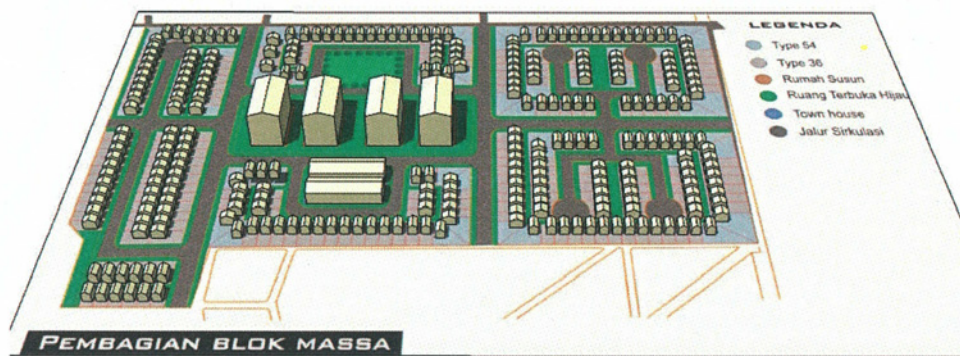


図 5 6 : 俯瞰図

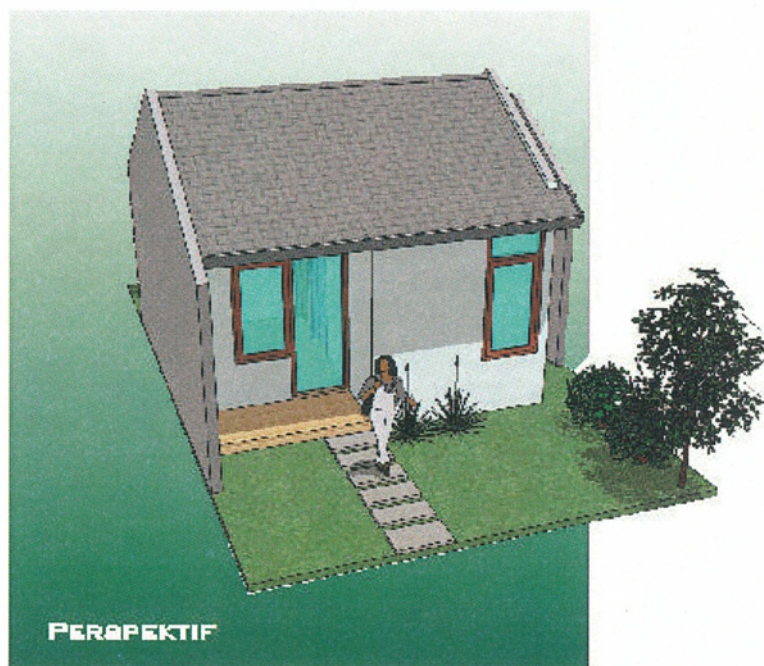


図 5 7 : 住宅の形

(6-2-4) バンドン案4

集合住宅を立体的に緑化する。

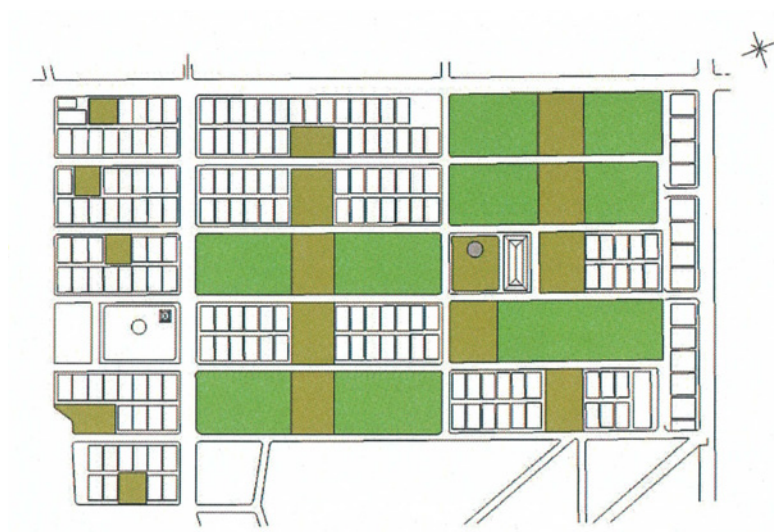


図 5 8 : 配置図



図 5 9 : 俯瞰図



図 6 0 : 立体的緑化のイメージ

(6-2-5) 排出量予測

表 3 3 : バンドン市 4 案に関する、排出量予測総括表

評価項目	現況	案 1	案 2	案 3	案 4	単位
地区面積	52,028	52,028	52,028	52,028	52,028	m ²
総戸数	343	343	343	343	343	戸
計画人口	1,570	1,212	1,372	1,372	1,372	人
延べ床面積	29,400	32,870	29,400	32,870	32,870	m ²
住宅床面積	27,400	30,870	27,400	30,870	30,870	m ²
非住宅床面積	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	m ²
総排出量/年戸	3.648	3.613	3.517	3.535	3.513	T・CO ₂
住宅用建築材料 LCE	555	555	0	900	900	T・CO ₂
住宅用建築材料 LCE/戸	1.6	1.6	0	2.6	2.6	T・CO ₂
期待耐用年数	15	15	20	60	60	年
LCE/年	37	37	0	15	15	T・CO ₂
LCE/戸・年	0.108	0.108	0	0.044	0.044	T・CO ₂
LCE/床 m ² ・年	1.35	1.20	0	0.49	0.49	T・CO ₂
光熱関連排出/年戸 ^{注 1)}	2.390	2.390	2.390	2.390	2.390	T・CO ₂
交通関連排出/年戸 ^{注 2)}	1.159	1.159	1.159	1.159	1.159	T・CO ₂
緑地面積	5,700	28,149	20,811	37,532	46,915	m ²
緑地吸収量/年	-3.0	-15.0	-11.1	-20.0	-25.0	T・CO ₂
緑地吸収量/年戸	-0.009	-0.044	-0.032	-0.058	-0.080	T・CO ₂
建築材料の炭素固定	68.6	68.6	987.8	34.3	34.3	Ton・C

注 1) 光熱に関する技術的提案（太陽電池、オール電化等）は議論されたが、計画案には含まれていない。

注 2) 交通に関しては、団地内部のみでは差異がつかず、都市全体の交通機関等インフラ整備の検討や、都心の再開発による戸数供給と郊外開発を比較評価する方法を行う必要がある。

(7)ワークショップによる討論

2007 年 3 月 6～7 日に、バンドン市の会場で、代替的な計画案を発表し、討論・評価を行うためのワークショップを開催した。初日に、地球環境問題の解説、本研究の経緯と成果に関する発表を行った後、チレボン市に関する 4 の代替案のプレゼンテーションを行い、討論した。二日目には、アジア近隣諸国の調査結果を発表した後、バンドン市に関する 4 の代替案のプレゼンテーションを行い、討論した。最後に、全体に関する幅広い討論を行い、2 日間の日程を終了した。

ワークショップには、地元代表、地方自治体、建築・都市計画分野の学識経験者以外に、農林業関係の学識経験者の参加があった。

WORKSHOP

**“BENTUK KAWASAN
PERUMAHAN PERKOTAAN
RENDAH EMISI CO₂”**

Selasa - Rabu, 6 - 7 Maret 2007
Hotel Savoy Homan, Bandung



写真1：セミナー参加者と会場風景

以下、議事概要を示す。

(7-1) 活動全体に関して

- ・検討対象となっている地区は、シミュレーションと最適化の一例である（具体的な開発事業を想定しているわけではない）
- ・シミュレーションとは、変数（この場合は排出量）を系統的に計算することである。
- ・最適化とは、多くの選択肢から、解決を選択・決定する方法であり、最適な解決を定量的または定性的に求める。
- ・この研究の目的は、適切なプロトタイプを求めることにある。
- ・対象領域は、都市、地区、住環境、建物である。
- ・この研究は、建築材料、交通、日常生活に焦点を絞っている。
- ・各種の指標について、許される限度が示される必要があるのではないか。
- ・各指標の条件が示されてから、住宅、地区、地域、都市のスケールでの分析が可能となる（ダイアグラム）。

(7-2) デザイン

- ・以下に留意すべき：

- 1) 建物の方位は、南北方向であることが望ましい
 - 2) 樹木は太陽熱を遮ることを期待するなら、西側に配置されるべき
- ・屋上庭園は、太陽熱を遮るのに有効であり、壁面にも適用可能である

- ・クルドサック（袋小路）による配置計画は、歩行者にとって不利である。到達距離はより遠くなる。公共交通の導入も難しくなる。抜け道（パッサージュ）が補われて、初めて有効である。
- ・格子状の街区構成は、効率がよいが、オリエンテーションがわかりにくい。
- ・バンドン・サリジャディの場合：
 - 1) 格子状の街区構成は、街路にヒエラルキーを設定することによりオリエンテーションが得られる
 - 2) 街路が、駐車スペースとなる場合、および鉢植えにより緑化される場合に、マイナーな変換が可能である。
- ・設計の中で、風の向きに留意する必要がある。熱帯であって風速が小さいが、それでも効果は期待できる。
- ・生態系を配慮するなら、完結した設計はあり得ない。なぜなら物的条件、土地の特性、景観が様々だからである。
- ・都市のスケールにおいては、インドネシアでは、住宅・住宅地は多様であり、計画の中では、取り組みは一樣ではない。
- ・計画において配慮すべきことは、
 - 1) 文化的景観 2) 参加型計画 3) 政府と市民の経済力 4) 地震を考慮したとき立体化が適切か？
- ・各コンセプトの説明において目指すべきは、
 - 1) 固定観念の変更 2) 指針の提供 3) 小さな集合体（例えばカンボン・ナガのような）からの発想 4) 実現のための、法的規制の導入
- ・木材の使用量を増やすという発想転換は、難しい。「森を大切に、森を守り、木の使用を減らす」という昔からの考え方と異なる。木の町はインドネシアでは難しい。
- ・提案されたデザインは、定性的であり、量的な指標を計算する必要がある。
- ・居住者が何を必要としているかを考える必要がある。例えば：
 - 1) 人間、動物、その他からの安全・安心
 - 2) 快適性
 - 3) アクセシビリティとモビリティの確保
- ・現場の条件により、住宅地は以下のように分類できる：
 - 1) 地理的立地（平坦、海洋、海岸、丘陵、山岳）
 - 2) 地区の施設、例えば市場、医療施設など。これらは入居者に関係する。
 - 3) 文化等
- ・人口が増加すると、建材消費は増加する。従って、垂直の開発により、**RTH** を確保する。現在建設されている低家賃集合住宅は、適切ではない。
- ・調査研究の中で、風の方向が分析されていない。
- ・植樹は、日よけ・傘の機能を有する。
- ・有害ガスをいかに減少させるか？
- ・再開発の目的は何か？都市計画も含まれるのか？
- ・この研究は、**1996 年環境計画（Holler）**を混乱させるためのものか？
- ・ハワードの田園都市は、中心に公園を有する。

- ・都市の方位は、公園？
- ・デザインにランドマークがない。メンテナンスの概念がない。
- ・発表されたデザインは、地区に必要な「ランドマーク」「ノード」を欠いている。
- ・通常の開発においては、利益が問題とされる。得失はどうか？
- ・排出量を少なくすると、価格も安くなるのか？
- ・それぞれの提案されたモデルにおいては、どれだけ排出量を減少させることができるのか？
- ・集合住宅においては、昇降は容易であるか？
- ・提案された計画では、用地が確保されたこととなっているが、個々の地権者がいる地区ではどうなのか？
- ・バンドンの住宅地は高密であり、住宅開発用地を探すことは難しい。
- ・開発用地の多くは 7-3)壊れている（暑い）ため、地区選択が適切ではないことが多い。

(7-3) 緑化空地 (Ruang Terbuka Hijau, 略称 : RTH)

- ・RTH の計画が、宅地と地区の計画に含まれねばならない。
- ・RTH は、都市の種類、構造、形態と文化景観をみる必要がある。
- ・RTH の最適な比率は何%か？法的強制が必要である。
- ・樹木は、地滑り防止の効果があり、CDM と関係するので、住宅の価格はより高くなる（価値が高い？）。
- ・KDB(建坪率)だけではなく、KDH（緑被率）も留意される必要があり、地方政府は市民による植樹を勧奨しなければならない。
- ・CO₂は、海や大気からも供給されるものであるから、閉じたシステムではない。
- ・RTH だけでなく、樹種も、排出量削減に関係する。
- ・1 ヘクタールの面積当たりで、CO₂を効果的に吸収する植物を探すならば、アカシアが注目になる。酸素発生効率が高い。
- ・CO₂を計量することが難しいが、CO₂を計算する方法を用いることができる。ダイナミックなインフォマティクスが構築されればこれが可能となる。
- ・今年は CO₂ 吸収効率の高い 50 種について、葉と枝を切り取り、10 時間の間、二酸化炭素吸収量を計る。その結果を、CO₂量に換算する。
- ・もう一つの別の方法は、ソフトウェアを用い、人口からガスの消費量を評価する。
- ・すでに CO₂を計算するソフトウェアを作成した。
- ・有毒なガスを排出する樹木は有害である。短くて有益な樹木の研究が必要である。
- ・屋上緑化は、太陽熱を遮るので有効である。
- ・地方政府は正しい条例を定めるべきである。インドネシアでは、明確な理由なしに、樹木が生育し、tebang されている。
- ・単位面積の樹林によって一年間に吸収される CO₂の総量に関する研究が行われる必要がある。樹木の性格は、昼間に吸収し、夜間に放出する。
- ・都市における RTH による CO₂吸収は、果たして有効か？構造はいかに？性格の異なる都市においてははいかに？
- ・植樹の費用は少ないが効果は高い。だから、植樹は推奨されるのである。
- ・RTH は、CO₂排出を減少させ、雨水を浸透させ、美観を形成するために重要である。

- ・ 1 軒に 1 本の木の概念はわかりやすい。

(7-4) 建築材料

- ・ 木材は、炭素固定の効果がある。世界規模では木造住宅の建設は有効である。木材生産の面では、山林が、建築材料の生産場所にならねばならない。
- ・ 竹はインドネシアでは多く生育し、建築物にも利用されているが、CO₂吸収の面での効果はまだ評価されていない。竹は、防風・地震対策（地盤の補強）として認識されている。
- ・ 竹の生長が早いことは以前から知られている。安価な道具の材料として用いられる。竹の機能（付加価値）を高めるためには、技術開発が必要である。
- ・ 煉瓦造に匹敵する性能の、竹の家の設計を開発する必要がある。
- ・ 「木造の町」のコンセプトは CO₂ 排出を下げる効果がある。考慮すべき点は、木や竹の家がインドネシアでは発展可能であるが、現状では、火災に関してまだ安全ではない、ということである。
- ・ 木材の価格は高い。このため庶民が木造の家を建てることは困難である。しかし、セメントを値上げすることにより、セメント製品の価格が上昇すれば、セメントの方が割高になり、需要は木材に移る。
- ・ 木と竹の社会普及は、それ単独では不可能である。「低廉な」部品として直ぐに取り付け組み立て可能な製品を木と竹で作るには、技術が必要であり、エネルギーと予算が必要である。安全面では最適化の研究が必要であり、「バリュー・エンジニアリング」が必要である。
- ・ 竹がどれだけ CO₂ を吸収するか？技術的には RTH を、敷地／地区の計画に釣り合ったものとし、住宅地をグリーンベルトとしていくことが重要である。
- ・ 煉瓦造住宅はすでにインドネシア人の文化である。
- ・ 住宅地のプロトタイプを開発することが必要である。
- ・ 建築的には、木造建築の寿命を長くし、外観を美しくすることが課題である。消費者の行動原理は、より安いものを求める。
- ・ 竹は、主要構造にも、補足的な部品にも用いることができる。
- ・ チーク材を 8 年の樹齢で利用可能にするにはどうすればよいか
- ・ 木材で高層建物をつくることには限界があり、最大 3 階建てである。
- ・ 受容可能な技術は、ローカルな面に配慮する必要がある。例えば、地域の建築材料を使用すれば、調達が容易であり、地域に貢献する。

(7-5) 社会・法政面

- ・ 市民を目覚めさせるためには、社会普及活動が必要である。
- ・ コンセプトを実行に移すには、まず地方政府が主導して、社会が望む必要がある。しかし、困難の壁は、地方政府・都市政府が弱体で、一貫性がないことにある。
- ・ 対策が地方条例にインプットされるためには、運用のための予算が明確でなければならない。
- ・ 建築条例を運用するには、町内会のレベルから始まるルールづくりが必要であり、頑固に運用される必要がある。
- ・ ルールを社会に届けるメディアが必要である。
- ・ ネットワーキングのために、メーリング・リストから始めることができる。
- ・ 研究開発の成果は十分多いが、継続的に実行されるアクションは無いのか？

・正確には、現段階で有益な研究開発成果は既にかなりある。しかし、社会普及は不十分で、実行には移されていない。

・この研究の成果は、先ほどのモデル提案と、効果の評価なのか？成果物は、技術指針なのか？

・地面の上ではない（立体化された都市における）生活形態に関する社会普及が必要である。

・注意すべきは、有機建築材料（木材）、風の向き、屋上庭園・壁面緑化であり、その社会普及である。

・要望は、実行が困難であり、コンセプトを明確化する必要がある。

・ワークショップの成果を社会普及し、実現に向けるためには、関連機関との連携が必要である。

・地区的な認識は、人種が多様な大都市やその地区で運用することは困難である。地区の認識を、論理的な認識に翻訳する必要がある。

・インドネシア人の思考方法を変えていく必要がある。

・社会のために法的基礎を明確化するための特別な地方条例が必要である。

・提案：計画は有益である→効率の指標化・定量化→成果は、技術指針の形での技術的クライテリアを成果とする。

(7-6) 交通

・マストラの研究は、CO₂排出量を減らすことができる。燃料効率はどうか？インドネシアにおける燃費はまだ非効率である。

・交通からの排出と、家計における排出はどのような関係？

・歩行を社会普及する必要がある。

・人が歩行したくなる住環境を創出するにはどうすれば良いか、都市政府にそれを社会普及するにはどうすれば良いか？

・自動二輪車は、バンドン市の大気汚染原因の73%を占めている。

・CO₂排出に寄与する交通手段は、公共バスや、住民自家用の手段だけではなく、レンバン（山の上の観光地）や、チマヒ（バンドン市の西隣の衛星都市）を目指す自動車が多数サリジャディ地区を通過している。

(8)設計案の評価結果

アンケートを実施した。各4の代替案に関して、プレゼンテーションのわかりやすさ、コンセプトのわかりやすさ、設計内容のわかりやすさについて質問した。次に、設計内容に関して、建築材料、生活エネルギー、交通、緑化の各観点から評価して頂いた。更に、

(8-1)チレボン

回答者の属性

表34：住所

無回答	バンドン市内	チレボン市	その他
1	16	5	5

表35：性別

無回答	男	女
1	20	6

表36：年齢

無回答	-29	30-39	40-49	50-59	60-
1	2	5	11	7	1

表37：学歴

未記入	高校	学士	修士	博士
1	3	9	10	4

評価結果

表 3 8 : プレゼンテーション

プレゼン	無回答	明快	不十分
案1	2	24	1
案2	7	18	2
案3	8	19	0
案4	11	15	1

表 3 9 : コンセプト

コンセプト	無回答	明快	不十分
案1	3	23	1
案2	8	15	4
案3	9	16	2
案4	12	12	3

表 4 0 : 設計内容

設計内容	無回答	明快	不明快
案1	6	17	3
案2	10	13	4
案3	8	18	1
案4	11	14	2

表 4 1 : 交通

交通	無回答	良い	不十分
案1	4	17	6
案2	7	9	11
案3	8	15	4
案4	11	12	4

表 4 2 : 光熱

家計	無回答	良い	不十分
案1	3	14	10
案2	7	11	9
案3	8	13	6
案4	10	9	7

表 4 3 : 建材

建材	無回答	良い	不十分
案1	4	18	5
案2	7	15	5
案3	9	12	6
案4	11	8	8

表 4 4 : 緑化

緑化	無回答	良い	不十分
案1	5	14	8
案2	6	14	7
案3	8	14	4
案4	12	12	3

表 4 5 : 生活習慣

生活習慣	無回答	良い	不十分
案1	6	20	1
案2	7	15	5
案3	10	16	1
案4	14	13	0

表 4 6 : 実現可能性

実現可能	無回答	良い	不十分
案1	4	21	2
案2	7	15	5
案3	11	15	1
案4	13	14	0

表 4 7 : 自由回答意見

自由記入	無回答	記入あり
案1	18	9
案2	18	9
案3	21	6
案4	21	6

表 4 8 : 地球温暖化問題について

無回答	知っていた	今回初めて知った
10	14	3

(8-2)バンドン

表 4 9 : 住所

無回答	バンドン市内	テレボン市	その他
2	14	6	2

表 5 0 : 性別

無回答	男	女
4	18	2

表 5 1 : 年齢

無回答	-29	30-39	40-49	50-59	60-
3	1	4	9	6	1

表 5 2 : 学歴

未記入	高校	学士	修士	博士
4	4	9	4	3

表 5 3 : プレゼンテーション

プレゼン	無回答	明快	不明快
案1	0	24	0
案2	2	19	3
案3	2	21	1
案4	10	14	0

表 5 4 : コンセプト

コンセプト	無回答	明快	不明快
案1	1	23	0
案2	3	21	0
案3	3	21	0
案4	11	13	0

表 5 5 : 設計内容

設計内容	無回答	明快	不明快
案1	4	20	0
案2	6	18	0
案3	5	19	0
案4	15	9	0

表 5 6 : 交通

交通	無回答	良い	不十分
案1	1	18	5
案2	3	16	5
案3	2	17	5
案4	10	11	3

表 5 7 : 家計

家計	無回答	良い	不十分
案1	1	18	5
案2	3	16	5
案3	2	19	3
案4	10	10	4

表 5 8 : 建材

建材	無回答	良い	不十分
案1	1	14	9
案2	2	16	6
案3	2	16	6
案4	10	11	3

表 5 9 : 緑化

緑化	無回答	良い	不十分
案1	1	19	4
案2	3	19	2
案3	2	19	3
案4	10	12	2

表 6 0 : 生活習慣

生活習慣	無回答	良い	不十分
案1	2	21	1
案2	3	20	1
案3	3	19	2
案4	10	13	1

表 6 1 : 実現可能性

実現可能	無回答	良い	不十分
案1	2	22	0
案2	2	20	2
案3	3	19	2
案4	10	13	1

表 6 2 : 自由意見回答

自由記入	無回答	記入あり
案1	14	10
案2	17	7
案3	16	8
案4	23	1

表 6 3 : 地球温暖化問題について

無回答	知っていた	今回初めて知った
12	12	0

(9)まとめ

研究前半において実施した実態調査で求めた原単位、および基本的な考え方を根拠として、住宅市街地のモデル設計を行った。現実の団地計画で第一に問題となる「コスト」意識に拘束されないために、計画目標を百年後に設定した。また、システム・バウンダリとしては、空間的には、2(1)で考察したように製造所・発電所・通勤圏等を含め、時間的には住宅が解体されるまでのライフサイクルではなく、更地から開始し、団地が定常的な状態になるまでとした。

これに加えて、緑地による CO₂ 吸収、炭素固定効果を評価するために、衛星画像による樹冠緑被率の計測を試みた。

排出量を増やさないことを設計目標として、2都市に関して、建築家・都市計画家が、それぞれ独立した作業により4の代替案を作成し、ワークショップで発表・討論・評価を行った。

提案された計画案は、大きく異なる概念を含んでおり、ワークショップにより一つだけを選択することはできなかった。しかし、それぞれの良い点を参考にしつつ、将来像の提案をまとめていく努力が、本研究終了後も、メーリング・リスト等による情報交換を通じて、行われていくことが合意された。

地震国であるインドネシアでは、これまで都市を水平に拡大してきた。そのことにより、郊外の緑地が失われ、2006年2月には、ジャカルタを未曾有の洪水が襲った。その事を受け、政府は大量の高層住宅の建設計画を発表するなど、都市の将来像を巡る議論が活発化してきている。

そのような時点で、議論に大きな役割を果たしている政府研究機関、学識経験者、行政担当者等を交えて、地球環境問題の観点から都市の将来像を論じることができた事は、有効であったと考えている。

5. 本研究により得られた成果

- ・ 7都市13団地に関する排出量現況調査結果
- ・ 排出量評価のための原単位
- ・ 2都市のモデル検討地区に関する、衛星画像による地形解析及び緑被率計測結果
- ・ 2都市のモデル検討地区に関する、各4案の代替的将来像
- ・ 代替的将来像に関する三次元データ
- ・ 代替的将来像に関するワークショップでのプレゼンテーションと討論・評価

なお、この他に、本研究の一環として、都市住宅の中高層化が急速に進行しているシンガポール、マレーシア、タイにおける地球温暖化対策に関する調査を実施し、英文による報告書が作成され、3月7日のワークショップで発表が行われたが、本報告書においては、紙数の関係で割愛した。この成果は、設計案にも一部反映されている。

6. 引用文献

補注：

(1)脚注のない表は調査票の集計結果である。

引用文献：

1)平成13年度環境省請負業務地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査「インドネシアにおける植林の評価方法に関する調査報告書」2002.2

2) Subandono: "Tsunami", 2006.2, Bogor, pp.120-123

3)日合連「合板関連統計月報」(財務省貿易統計に基づく数値)

4)セメント機械の設計・製作・プラント工場診断を担当された技師：高林二郎氏講演(2003年7月11日)

5)国民経済研究協会「内航海運から見た素材型産業の物流コスト合理化に関する調査報告書」2003.12、第4部セメント

6)「セメント」Mizuho(「2006年度の日本産業動向」所収)

[研究成果の発表状況]

(1)誌上発表(学術誌)

① 小林英之、日本都市計画学会、都市計画論文集 No. 41-3, pp. 869-874(2006. 10)
「インドネシアの計画的住宅地における二酸化炭素排出量」

(2)口頭発表

① 小林英之、春季研究発表会(2006. 5. 17)
「インドネシアにおける地球環境問題に配慮した住宅・都市の将来像
ー二酸化炭素排出の現状と計画の基本的コンセプトー」

(3)出願特許

(4)受賞等

なし

(5)一般への公表・報道等

① NHKクローズアップ現代(2006年6月1日、ジャワ地震被害に関連して、インドネシアにおける煉瓦造住宅の特徴について紹介)

② 現地セミナー4回

(6)その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

現地調査において中核的な役割を果たした、公共事業省人間居住研究所を中心とするチームにより、本研究に対して「UHS2100」(Urban Human Settlement 2100)という略称が用いられた。

現在、都市の将来像を巡る議論が盛上る。緑化が極めて重視されている。CO₂備蓄のための木造住宅振興は、林業関係者等が中心となって、植林と関連づけながら議論が始まっている。し

かし、従来の単純に「木を使う＝森の破壊」という価値観・政策の180° 転換は、時間のかかる難しい議論である。

高層集合住宅による都市拡大の防止・水害対策などが活発に議論されている。

このような時期・状況において、国立研究機関、主導的学識経験者、地域住民等と共にセミナーを実施したことは、都市・住宅の将来像の検討における地球環境的視点・長期的視点をインプットする上で大変効果的であったと考えている。