

地球 温暖化에 따른 韓半島의 純一次生産力과 潛在自然植生の 變化 推定

金正彦·吉奉燮*

韓國生態系研究所, 圓光大學校 科學教育科*

Estimation for Changes of Net Primary Productivity and Potential Natural Vegetation in the Korean Peninsula by the Global Warming

Kim, Jeong-Un and Bong-Seop Kil*

Institute for Korean Ecosystem,

*Department of Science Education, WonKwang University**

ABSTRACT

The net primary productivity and potential natural vegetation in the Korean peninsula in the 21st century were estimated by the Miami model and thermal climate, respectively, based on 148 meteorological data sets. In the 21st century, the distribution range of the net primary productivity in the Korean peninsula was estimated as $1,050 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1} \sim 2,050 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$. These values increased by $200 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ on northern part and $400 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ on southern part compared with that of the present century. The potential natural vegetation in the Korean peninsula in the 21st century will change into the followings: coniferous forest on Mt. Paektu area, deciduous broadleaf forest on northern part, and evergreen broadleaf forest on southern part.

Key words: Climatological index, Global warming, Net primary productivity, Potential natural vegetation

序 論

지구 大氣는 溫室效果를 가지고 있다고 알려져 있다. 지구의 온도는 태양으로부터의 入射 에너지와 지구 자체가 우주로 방출하는 熱放射와 收支에 의해서 결정되는데, 大氣-地表系는 태양으로부터의 單波長의 빛(주로 可視光線)은 흡수하고 長波長의 放射(주로 近赤外線)를 내며 이들 사이에 전체적으로 熱平衡을 이루고 있다. 지구 대기는 대류가 일어나는 大流圈과 그 위의 대류가 일어나지 않는 안정한 成層圈으로 구분할 수 있다. 대류권에서는 대류에 의한 가열과 방사에 의한 냉각 사이에서 熱收支가 유지되고, 성층권에서는 太陽 放射에 의한 加熱과 大氣 放射에 의한 冷却의 熱收支가 平衡을 이루는 放射 平衡 狀態에 있다. 이 放射 收支에 영향을 끼치는

대기 중의 기체는 수증기(H₂O), 이산화탄소(CO₂), 오존(O₃), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)와 염화불화탄소류(CFC) 등으로서 이들 중 이산화탄소와 수증기의 영향이 특히 중요하게 여겨지고 있으나 근래에는 微量成分氣體의 영향도 증대되고 있음이 지적되고 있다. 이들 중 염화불화탄소류는 각 종류를 전부 합해도 1×10^{-3} ppm 정도인 미량으로서 이산화탄소에 비하면 1/200 ~ 1/100,000 정도의 양에 불과하지만 遠赤外線(800 ~ 1,300 nm)에 대한 吸收能力이 크고 방사 에너지의 파장에 있어서도 이산화탄소나 수증기의 吸收域과 중복되지 않으며 年增加率 4%도 이산화탄소(0.4%/년)보다 커서 이의 溫室 效果에 대한 기여도가 급격히 증가되고 있다(松野 1991).

이산화탄소 濃度の 變動에 따른 地球 氣候 變化의 可能性에 관한 논의는 19세기 부터 세계 각지에서 화학적 방법에 의한 이산화탄소 농도의 측정이 산발적으로 행하여짐으로써 시작되었는데, 1940년을 전후하여 化石 燃料의 消費 增加와 植生の 減少 등과 같은 人間の 活動에 따른 이산화탄소 濃度の 增加 傾向이 把握되었다. 인간 활동에 따라서 대기에 더해지는 이산화탄소가 대기, 해양, 생물권 사이에서 배분되는 모델 제시되어 이산화탄소의 증가에 따른 地球 溫暖化라고 하는 문제가 제기되었다(田中 1991).

지구 대기 중 이산화탄소 농도의 매년 증가 경향과 그의 대기, 해양, 생물권에의 재 배분의 실태를 밝히기 위해 國際 地球物理 觀測年(international geophysical year: IGY-1958년)부터 현재까지 여러 연구 기관들에 의해서 非分散赤外分析法을 사용한 대기 중 이산화탄소 농도의 관측이 행해지고 있다. 여러 연구자들(Bolin 1986, Beas 1985, 眞鍋 1985)의 연구 결과를 종합하면 이산화탄소를 포함한 溫室效果 氣體의 增加로 過去 100년간의 地球 氣溫의 上昇은 0.5℃ 정도였으나, 지금의 대기 중 이산화탄소량 만으로도 地球의 氣溫을 1℃ 上昇시킬 수 있는 상태에 달하고 있으며 이산화탄소의 濃도가 現在의 倍로 증가할 것으로 예상되는 21世紀 以後에는 地球의 氣溫이 현재보다 평균 3 ± 1.5 ℃ 정도 上昇할 것으로 예측된다.

이러한 地球 環境의 變化는 21世紀에 大規模의 生態系 破壞로 나타날 것이 우려된다. 지구 대기의 온도가 조금만 높아져도 많은 動·植物의 適應 能力은 물론 植物의 生産力에 큰 影響을 끼치게 되므로 생물체들의 大量 滅種 등 장기적으로 生態系 保存이 不可能해질 것이며, 極地帶의 氷河가 녹아 버리는 등에 의한 海面의 上昇으로 森林과 툰드라 지대 그리고 산호초 등이 사라지게 될 것이고, 熱帶 地方의 맹글로브 등 低濕地帶林을 잃게 되는 등 動·植物의 生態 分布가 흐트러져서 生態系 全般에 큰 影響을 미치게 될 것이다.

地球 溫暖化가 장차 生態系의 大變化를 招來할 것이라는 관점에서, 이 연구에서는 현재 韓半島의 純一次生産力과 潛在自然植生の 分布를 考察하고, 豫測되는 氣候 變化와 관련하여 여러 기후 모델을 적용한 韓半島 148개 地點의 植生の 生産力을 계산하여 21世紀 以後 韓半島의 純一次生産力과 潛在自然植生の 分布 變化를 推定하였다.

研究 方法

韓半島의 純一次生産力の 評價

植物은 빛과 물을 사용하여 有機物을 생산하므로 乾燥한 地域에서는 生産量은 대체로 降水量에 比例하나(Walter 1971) 降水量이 充分한 地域에서는 氣溫이 生産의 制限 要因으로 作用하게 된다(Thorntwaite 1948, Kira 1977). 따라서 降水量과 氣溫 또는 氣溫의 函數로서의 蒸發散量, 溫量 指數 등의 要因을 變數로 하는 모델에 의하여 계산하면 어떤 지역의 實際 生産量과 近似한

값을 얻을 수가 있다. 氣溫과 降水量을 각각 變數로 하는 두 모델(Miami model, Lieth 1973), $y=3,000(1+e^{1.315-0.119T})$ 과 $y=3,000(1-e^{-0.000664P})$ 에 의하여 산출된 값 중 낮은 쪽을 취하면 실제의 생산량과 가까운 값을 얻을 수 있고, 또 蒸發散량을 變數로 하는 모델(Montreal model, Lieth and Box 1972), $P=3,000(1-e^{-0.0009695(E-20)})$ 과 溫量指數를 變數로 하는 모델(Kira 1977), $P_n=0.0859WI + 8.40$ 도 植物의 生産量を 推定하는 데 有用하다. 여기서 y , P , P_n 은 年間 純一次生産力, T 는 年平均氣溫(°C), P 는 年平均降水量(mm), E 는 年蒸發散量, WI 는 溫量指數(°C · month), e 는 自然代數 밑이다.

韓半島 각 지역의 純一次生産力の 評價에는 이들 네 모델들의 계산식을 사용하여 얻은 값들 중 가장 낮은 값을 취하여 실제와 가깝게 평가되도록 하였다. 또 地球 溫暖化에 따른 21世紀 以後 韓半島의 純一次生産力を 현재의 것(Yim 1986)과 比較하기 위하여 같은 모델식과 計算方法을 사용한 Yim의 기상 자료를 사용하였다.

純一次生産力の 變化 推定

식물의 純一次生産力(net primary productivity: NPP)에의 이산화탄소 濃度 上昇의 直·間接의 影響(ΔNPP)은 이산화탄소 濃度 上昇에 따른 光合成의 活性化(ΔNPP_{CO_2})와 變化된 氣候 要因들에 의한 純一次生産力の 變化 ($\Delta NPP_{CLIMATE}$)의 합 즉, $\Delta NPP = \Delta NPP_{CO_2} + \Delta NPP_{CLIMATE}$ 로 표현된다(內嶋과 清野 1991).

본 연구에서는 現在의 이산화탄소 濃도가 두 배로 증가했을 때 豫測되는 地球의 平均 氣溫의 變化 즉 平均 氣溫 上昇分 3°C를 Yim(1986)이 韓半島 純一次生産力の 분석을 위하여 계산한 韓半島 148개 地點의 平均 氣溫에 각각 더하여 이들 지점들에서의 Miami model ①~②, Montreal model, Kira's model 등 네 모델을 사용한 純一次生産力を 計算하였으며 산출된 값들 중 가장 낮은 값을 취하여 Yim(1986)의 研究 結果와 比較, 地球 溫暖化에 따른 21世紀 以後 韓半島의 純一次生産力 分布의 變化를 推定하였다.

潛在自然植生の 變化 推定

潛在自然植生(potential natural vegetation)은 現存하는 植生에 가해지고 있는 人間의 影響이 除去되고 自然 狀態로 放置하였을 때 나타날 것으로 豫想되는 理論的인 植生을 말한다. Yim (1977)은 韓半島의 溫量指數 分布와 現存植生の 分布가 一致함에 착안하여 韓半島의 潛在自然植生을 推定한 바가 있다. 그에 의하면 韓半島의 潛在自然植生은 寒冷指數(CI) $-10^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 와 溫量指數(WI) $55^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 두 氣候 指數의 等值線을 境界로 暖溫帶에 常綠闊葉樹林, 冷溫帶에 落葉闊葉樹林 그리고 亞高山帶에 亞高山針葉樹林이 形成될 것이며, 冷溫帶는 다시 WI $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 와 WI $85^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 두 等值線에 의해 南部, 中部, 北部로 나눌 수가 있다.

여기서는 21世紀 以後 推定되는 地球 平均 氣溫의 變化 즉 平均 기온 상승분 3°C를 Yim and Kira(1975)가 韓半島의 溫量指數 分布의 分析을 위하여 사용한 기상 자료인 韓半島 148개 지점의 月平均 氣溫에 각각 더하여 이들 지점들의 溫量指數를 다시 計算하고 이를 근거로 CI $-10^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$, WI $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$, WI $85^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 와 WI $55^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 等值線으로 區分되는 韓半島의 溫量指數 分布圖를 그리고 이에 의거하여 21世紀 以後에 形成될 것으로 보이는 韓半島의 潛在自然植生을 推定하였다.

結果 및 考察

韓半島의 純一次生産力과 植生の 分布

Fig. 1의 왼쪽은 韓半島의 純一次生産力, 溫量指數 및 潛在自然植生の 分布圖이다. Fig. 1의 왼쪽 위는 韓半島의 純一次生産力 分布圖(Yim 1986)인데, 韓半島에서의 純一次生産力은 北部의 山岳地域, $850 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 으로부터 南部 海岸地域, $1,650 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이상으로 점차 增加되고 있다. 이것은 북에서 남으로 변화함에 따라 針葉樹林(高山帶와 亞高山帶)에서 풍부한 기후 자원하에서 활동 기간이 긴 闊葉樹林(常綠闊葉樹林帶)으로 점차적으로 變化되고 있기 때문인 것으로 보인다.

Fig. 1의 왼쪽 가운데는 韓半島의 溫量指數 分布(Yim and Kira 1975)를 보인 것인데, 溫量指數(warmth index: WI)는 月平均 氣溫이 5°C 이상인 달의 平均 氣溫의 積算値이며, 寒冷指數(coldness index: CI)는 月平均 氣溫이 5°C 이하인 달의 平均 氣溫의 積算値에 -의 부호를 붙인 것으로서 이들은 모두 植物의 分布를 制限하는 要因 分析에 쓰인다.

Fig. 1의 왼쪽 아래는 韓半島의 溫量指數 分布와 現存植生을 참고하여 만든 韓半島의 潛在自然植生圖(Yim 1977)로서 이는 현재의 氣候를 反映하는 것이다.

위의 세 그림을 분석하면 韓半島의 潛在自然植生の 針葉樹林 地域(亞高山帶), 落葉闊葉樹林 地域(冷溫帶)와 常綠闊葉樹林 地域(暖溫帶)의 境界部에 純一次生産力 $1,050 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 와 $1,650 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 等值線, 氣候指數 WI $55^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 와 CI $-10^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 等值線이 지나고 있으며 冷溫帶의 경우 WI $85^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 와 WI $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 두 等值線을 境界로 다시 北·中·南部로 나뉘어 지는데 이는 一次生産力 $1,250 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, $1,450 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 두 等值線에 의한 境界와 비슷하다. 이것은 植生の 一次生産力이 韓半島에서는 溫度指數에 의해 크게 影響을 받고 있음을 意味하며 韓半島의 潛在自然植生은 CI $-10^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 이상의 지역(남해안 지방)에는 常綠闊葉樹林이, WI $55^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 이상의 지역에는 落葉闊葉樹林이, 그리고 WI $55^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 이하의 지역에는 亞高山針葉樹林이 分布하게 됨을 증명해 주는 것이다.

地球 溫暖化에 따른 韓半島의 純一次生産力과 植生の 分布 變化

Fig. 1의 오른쪽은 地球 溫暖化에 따라 현재 기온보다 약 3°C 높아질 것으로 예상되는 21세기 이후에 韓半島에 형성될 純一次生産力, 溫量指數 및 潛在自然植生の 分布를 推定한 것이다. Fig. 1의 오른쪽 위는 21世紀以後 韓半島의 純一次生産力의 分布를 그린 것인데 韓半島 最北部 山岳 地域에서의 純一次生産力은 $1,050 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, 南部 海岸地域에서는 $2,050 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이상이 될 것이며 현재보다 北部 地方에서는 平均 $200 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, 中南部 地方에서는 平均 $400 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 가 增加될 것으로 推定되었다. 따라서 21世紀以後에는 現在 南海岸에 걸쳐 분포하고 있는 純一次生産力 $1,650 \text{ g DM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 等值線이 南포-금화-영흥-북청을 잇는 북위 39° 이상으로 北上하게 되어 地球 溫暖化로 韓半島의 純一次生産力은 크게 增加하게 될 것으로 예상된다.

Fig. 1의 오른쪽 가운데는 氣候指數(WI와 CI)의 分布를 推定한 것인데 亞高山林과 落葉闊葉樹林 群系 分布의 境界로 주목되는 WI $55^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 等值線이 白頭山 高原 地帶 부근으로, 常綠闊葉樹林의 底溫 限界인 CI $-10^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 의 等值線은 인천-주봉령-청송-삼척을 잇는 中部

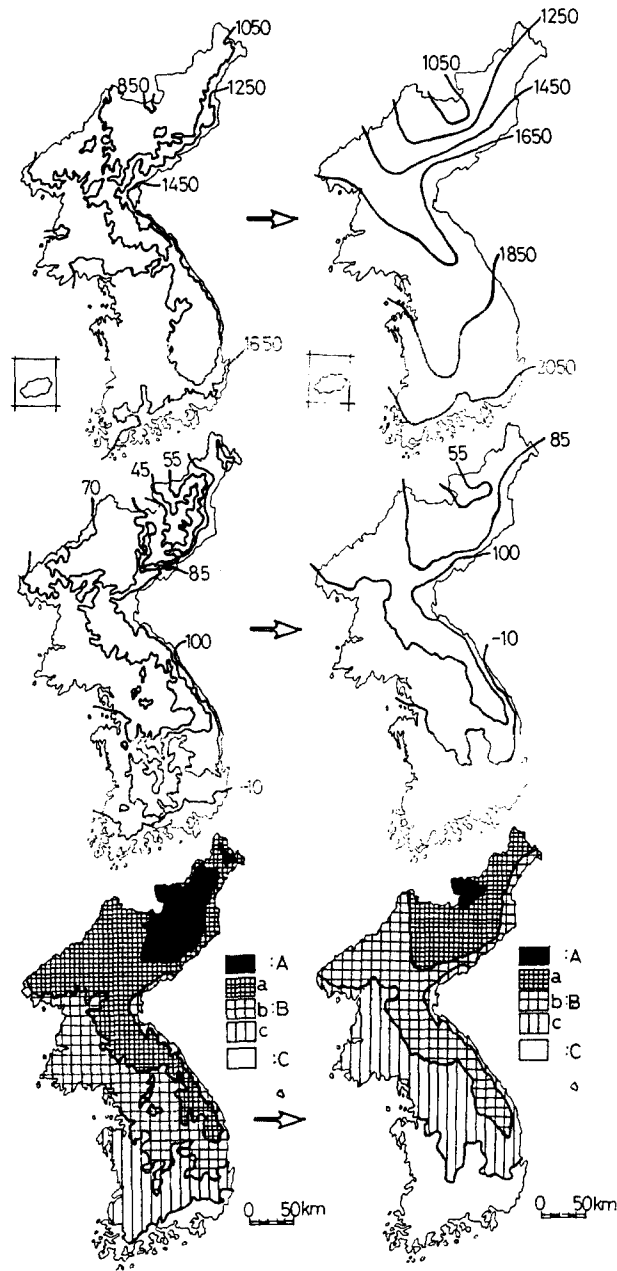


Fig. 1. Maps showing the change of net primary productivity, thermal zone and potential natural vegetation in the Korean peninsula by the global warming in the 21st century. The net primary productivity (top, Yim 1986), thermal zone (middle, Yim and Kira 1975) and potential natural vegetation (bottom, Yim 1977) in the present century (left) and in the 21st century (right). A: coniferous forest, B: deciduous broadleaf forest (a: northern part, b: central part, c: southern part), C: evergreen broadleaf forest.

地方으로 현재보다 크게北上하여 특히 韓半島의 南部 地方은 따뜻한 기후하에 놓이게 될 것으로 보인다.

Fig. 1의 오른쪽 아래는 推定된 純一次生産力과 氣候指數의 分布를 기초로한 21世紀以後에 形成될 것으로 豫測되는 韓半島의 潛在自然植生圖이다. WI 55°C·month 以下の 地域에 형성되는 亞高山 針葉樹林은 白頭山 高原地帶 附近의 극히 制限된 部分에만 分布하게 되고, CI -10°C·month로 分布가 制限되어 現在 南海岸에만 分布하고 있는 동백나무, 가시나무 등을 標徵種으로 하는 暖溫帶 常綠闊葉樹林은 북위 37°부근까지 北上하여 韓半島의 南部 地方을 덮게될 것이며 中部와 北部 地方의 大部分은 개서어나무, 서어나무, 신갈나무 등을 標徵種으로 하는 冷溫帶 落葉闊葉樹林으로 덮이게 될 것으로 豫想된다.

摘 要

植生の 分布는 氣候의 影響을 크게 받는다. 降水量이 豊富한 우리 나라에서는 植生은 특히 溫度 氣候의 影響을 받게 되는데, 이산화탄소가 현재의 두배로 增加하여 발생될 地球 溫暖化의 影響으로 21世紀 以後 우리나라에 형성될 植生の 純一次生産力의 分布는 1,050 g DM·m⁻²·yr⁻¹ ~ 2,050 g DM·m⁻²·yr⁻¹ 이상의 範圍에 있게 되며 이들 중 1,650 g DM·m⁻²·yr⁻¹의 等值線은 북위 39°까지 北上하게 될 것이다. 溫度 指數의 分布도 큰 폭으로 北上하여 21世紀 以後 우리 나라에 형성될 潛在自然植生은 白頭山 高原地帶 일부에 亞高山帶 針葉樹林이, 暖溫帶 常綠闊葉樹林은 북위 37°까지 北上하여 中部 以南은 동백나무, 가시나무 등의 常綠闊葉樹林으로 優占되고 中北部의 大部分은 신갈나무, 서어나무, 개서어나무 등의 落葉闊葉樹林으로 덮여질 것으로 보인다.

引用文獻

- 內嶋善兵衛·清野豁. 1991. 植物生産力と氣候條件. *In* 內嶋善兵衛(編), 地球環境の危機. 岩波書店, 東京. pp. 123-131.
- 松野太朗. 1991. 温室効果かすの増加による氣候變化の推定. *In* 內嶋善兵衛(編), 地球環境の危機. 岩波書店, 東京. pp. 74-83.
- 田中正之. 1991. 二酸化炭素濃度の變動. *In* 內嶋善兵衛(編), 地球環境の危機. 岩波書店, 東京. pp. 3-10.
- 眞鍋淑郎. 1985. 二酸化炭素と氣候變化. *In* 內嶋善兵衛(編), 地球環境の危機. 岩波書店, 東京. pp. 65-73.
- Beas, C.F., Jr. 1985. Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle. *In* National Technical Information Service, Washington, D.C. 316p.
- Bolin, B. 1986. The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystem. John Wiley & Sons, New York. 541p.
- Kira, T. 1977. A climatological interpretation of Japanese vegetation types. Proceeding of the International Symposium in Tokyo on Protection of the Environment and Excursion on Vegetation Science through Japan 1974, Marazen Co. Tokyo pp. 21-34.
- Lieth, H. 1973. Primary production: Terrestrial ecosystems. *Human Ecol.* 1: 303-332.

- Lieth, H. and E. Box. 1972. Evapotranspiration and primary productivity: C.W. Thornthwaite Memorial Model, Publication in Climatology. 25(2): 37-46.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev. 38: 55-94.
- Walter, H. 1971. Ecology of tropical and subtropical vegetation (English edition). Oliver & Boyd, Edinbergh. 339p.
- Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula, IV, Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. Japanese J. Ecol. 27: 269-278.
- Yim, Y.J. 1986. Estimation of the net primary production in the Korean peninsula. Korean J. Ecol. 9: 41-50.
- Yim, Y.J. and T. Kira, 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula, I. Distribution of some indices of thermal climate. Japanese J. Ecol. 25: 77-88.

(1995년 2월 15일 접수)