

Restoration Ecology of Lowland Tropical Peatlands in Southeast Asia: Current Knowledge and Future Research Directions

Ecosystems, 12, 888–905, 2009.

Susan Page,^{1*} Agata Hosińska,¹ Henk Wołoszyn,² Jyrki Jauhiainen,³

Marcel Silvius,⁴ Jack Rieley,⁵ Henk Ritzema,² Kevin Tansey,¹

Laura Graham,¹ Harri Vasander,³ and Suwido Limin⁶

¹Department of Geography, University of Leicester, University Road, Leicester LE1 7RH, UK; ²Alterra, Wageningen University and

Research Centre, P. O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands;

³Department of Forest Ecology, University of Helsinki, 00014

Helsinki, Finland; ⁴Wetlands International, Wageningen, The Netherlands;

⁵School of Geography, University of Nottingham,

University Park, Nottingham NG7 2RD, UK; ⁶CIMTROP, University of Palangkaraya, Palangkaraya, Central Kalimantan, Indonesia

水野英之 造林3年

Abstract 1

- 広大な泥炭地の森林破壊、排水、火による衰退
- CO₂の大気放出

→現地、地球規模での環境問題、経済問題

→Landscape-scaleでの修復が必要

そのための**5つの知識**

- 劣化した泥炭地での土地被覆の変化
- 植生回復
- 水環境の修復
- 炭素隔離、保管の回復
- 持続可能な地域社会の暮らしの促進

Abstract 2

泥炭地の修復を成功させるために

- 科学的知識に基づいていること。
- 地域社会の経済に配慮したものであり、その同意、協力を得たものであること。

Introduction

- 伐採、排水、火による熱帯泥炭の生態系の破壊
- 北方の温帯泥炭
- ENSO (El Niño-Southern Oscillation)による降水量の低下
=エルニーニョ南方振動
- 熱帯泥炭地の修復についてあまり知られていない
- 研究の歴史も短く、研究例も少ない
- より大規模でより長いタイムスケールでの更なる研究が必要

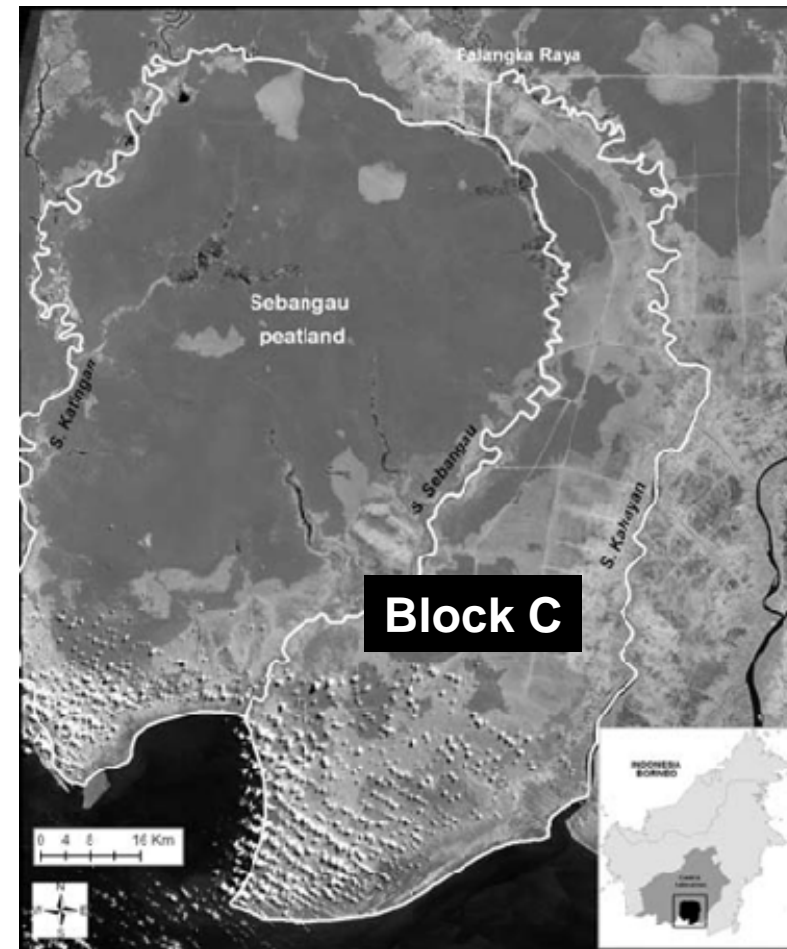
Study Area

Block C

- MRP (メガリスプロジェクト)により劣化
- 4490 km²
- 泥炭 最大9.3m 平均4.4m
- 水路 幅~25m 深さ3.5-4.5m
全長 4000km

Sebangau

- 比較的良好
- 2006年に国立公園に指定
- 泥炭 最大13.6m 平均7.8m
- 水路 幅~1.0-1.5m 深さ~0.5-1.0m
全長 10km



Land-Cover Dynamics Of Degraded Peatland

- 土地被覆の変化
- Block C 地点
- 衛星写真
- NDVI(正規化植生指数)を参考にした人による区分(15classes)

Normalized Difference Vegetation Index

植物の緑葉は青領域と赤領域の波長を吸収し、近赤外線領域の波長を強く反射する

$$NDVI=(IR-R)/(IR+R)$$

R:赤波長 IR:近赤外波長

- IRは植物の葉の細胞構造による反射率の高い近赤外域に対応
- Rは 0.64~0.67 μ m付近の強い吸収帯(可視光の赤)に対応

Table 1. Changes in Primary Forest Cover (%) in Block C (4500 km²) of the Former Mega Rice Project Area, Central Kalimantan, Over a 30-Year Period (1973–2003) Derived from a Time Series of Remotely Sensed Images

Primary forest cover (%) in Block C						
Forest type	1973	1991	1994	1997	2000	2003
Mixed peat swamp forest	56.5	48.1	40.6	39.6	15.6	12.8
Low pole peat swamp forest	3.1	3.1	3.1	3.1	0.7	0.3
Total peat swamp forest	59.6	51.2	43.7	42.7	16.2	13.1
¹ Rate of forest loss in relation to forest cover in 1973		14.1	26.6	28.4	72.8	78.0
Heath forest	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	N/A
Mangrove forest	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	N/A
Freshwater swamp forest	8.7	8.4	7.9	7.8	6.0	N/A
Total forest cover	72.9	65.0	56.9	55.8	29.5	N/A

The 1997 data were obtained from an image dating to before the 1997/98 fires, thus the extensive loss of forest caused by these fires is reflected in the forest cover figures for 2000. Only data for primary forest are included. N/A indicates data not available for the whole of the Block owing to cloud cover.

¹*The rate of forest loss is calculated using the 1973 figures as the baseline data.*

- 1972/73 ENSO
- 1982/83 ENSO great fire of Borneo
- 1991/92 drought
- 1996 MRP
- 1997 ENSO fire
- 2002 ENSO fire

- 干ばつと大きなダメージの同時性
- 同時性の崩壊
→伐採と排水による影響

Table 2. Extent of Burnt Areas in Block C, Former Mega Rice Project Area, Central Kalimantan, for the Period 1973–2005, Detected from Remotely Sensed Images

Time period	Extent of fire scars (% of block)	Timing of ENSO-driven or other drought event
Before 1973	6.9	1972/73 ENSO
1973–1991	8.6	1982/83 ENSO
1991–1992	7.7	Drought
1994–1995	1.2	
1997–1998	33.5	1997/98 ENSO
2002	24.0	2002/03 ENSO
2004	14.3	
2005	12.4	

Total area of Block C: 4500 km².

Restoration Actions

(1)Vegetation Restoration

(2) Restoration of Hydrology

(3)Restoration of Carbon Sink Function and
Reduction of Greenhouse Gas Emissions

(4)Restoration of Local Livelihoods

(1)Vegetation Restoration

- 森林植生の修復
- Block C
- 火の回数、強度の違いによる天然更新能力の評価
- 排水、火がまねく植生変化が明らかに

Table 3. Data on Post-Fire Vegetation Succession Obtained from Study Plots Located in the Northern Section of Block C, Former Mega Rice Project Area, Central Kalimantan

Plot fire history	Number of plots (400 m ²) ¹	Average no. of trees	Average no. of tree species	Dominant tree species (% dominance amongst trees in plot)	Average no. of saplings	Dominant species of sapling	Average no. of seedlings	Dominant species of seedling	Ferns (% cover)	Bare ground (% cover)
Burnt 1997	4	97.8	16.3	<i>Combretocarpus rotundatus</i> (64.5)	165.0	<i>C. rotundatus</i>	244.0	Various	0	0
Burnt 1997 and 2002; low intensity fire 2002	5	36.0	9.0	<i>C. rotundatus</i> (84.4)	34.2	<i>C. rotundatus</i>	6.2	Various	28.0	0
Burnt 1997 and 2002; moderate intensity fire 2002	5	11.6	3.6	<i>C. rotundatus</i> (94.8)	13.0	<i>C. glaucum</i>	15.4	<i>C. rotundatus</i> and <i>C. glaucum</i>	76.0	2.8
Burnt 1997 and 2002; high intensity fire 2002	4	2.3	5.8	<i>C. rotundatus</i> and <i>Cratoxylon glaucum</i> (88.9)	88.3	<i>C. glaucum</i>	49.5	<i>C. glaucum</i>	90.3	2.5
Burnt 1997 and 2002; high intensity fires in 1997 and 2002	3	0.0	0.0		0.0		0.0		97.7	2.3

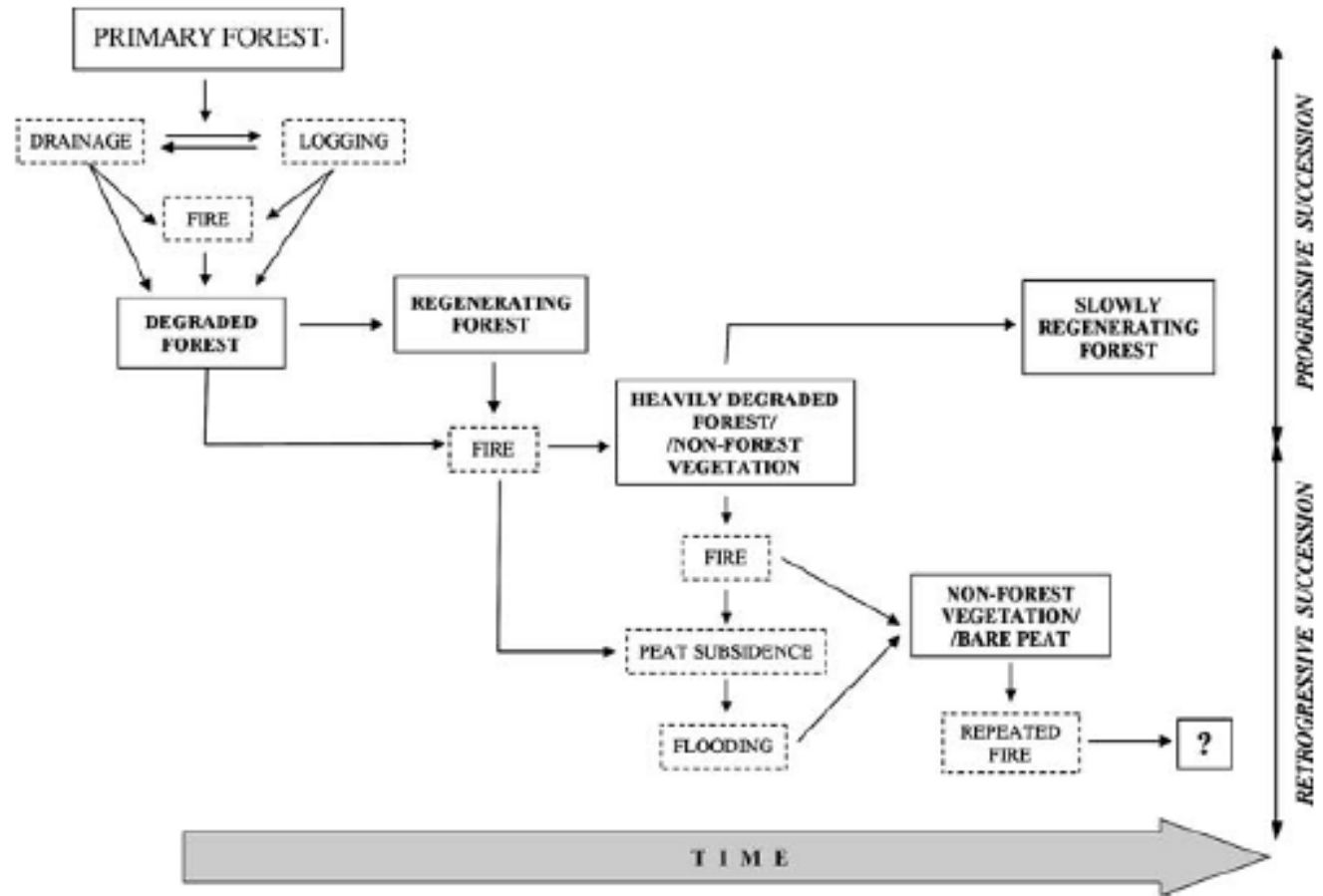
¹In the plots burnt only in 1997 (row 1 in the table), each 20 × 20 m plot was divided into four 10 × 10 m subplots within which all trees greater than 5 cm DBH (diameter at breast height, 1.3 m above the ground) were identified and measured. DBH measurements of saplings (1.0–4.9 cm DBH) were made within a 5 × 5 m subplot nested in the corner of each plot and the total number of saplings was extrapolated for the whole plot. Seedlings (DBH less than 1 cm, but greater than 50 cm in height) were counted within a 2.5 × 2.5 m subplot and the total number of seedlings was extrapolated for the whole plot. In all other plots (rows 2–5 in the table), trees, seedlings and saplings were recorded within the full 20 × 20 m plot.

シダ植生への遷移

1. 火による攪乱
2. 雨季の洪水の頻発
蒸発散量の低下
地表面の沈下
燃焼による土壌の保水能力の低下
3. 植生回復が妨げられ、洪水に耐性のあるシダが優先

泥炭湿地劣化の悪循環

- 植生遷移が起こると、天然更新では森林植生には戻らない
 - 種子散布量の低下
 - 草本類との競争
 - 貧栄養
 - 乾季の低水位と雨季の洪水
- 人の助けが必要



seedling establishment trials (Block C)

- 天然生林の残部(control)
- 水位の高い伐採地
- 水位の低い伐採地

結果

controlが圧倒的

残りの試験地では生残率が非常に低い

→この段階では水位はあまり関係ない

(2) Restoration of Hydrology

- 排水熱帯泥炭の開発は水環境の変化、炭素の損失(主にCO₂放出)をまねく
- 水機能の修復は炭素収支の安定、森林植生の回復に必須の前提条件
- 調査地 Block C、Sebangau
- ground water level(地下水位)の安定性の違い

- 1997 dry year (top 1848mm)
- 1999 wet year (bottom 3788mm)

- Block C 不安定
- Sebangau 安定

→火、洪水の災害地域が予測可能になる
→大規模な水環境の修復をどのようにして
いくか

- -40cmを下回ると火がつきやすく、
地中に残りやすくなる
- Sebangau, Block Cでそれぞれ
15%,85%(1997年乾季)
- 1%,5%(1999年乾季)

- 洪水エリア
- 1997年雨季 1%
- 1999年雨季 20%(S:5% , B:25%)

ダム

- 水の流れを止める
- たくさんのダムを密接
- 勾配にあわせてダムの距離を決定
- 防水でなくてよい、シンプルに
- 木材、泥炭で
- コストのかかる土台が必要ない

低ダム群工法に似る

・・・落差の大きな砂防ダムによる
砂防ではなく、落差の小さな砂防ダム
(床固め:高さ1m 前後)を数基設置する



Figure 5. Example of a small dam in an illegal logging canal in the Sebangau peatland constructed using locally available materials.

- 計画、実施への地域住民の参加
- 彼らの同意→持続可能な修復へ

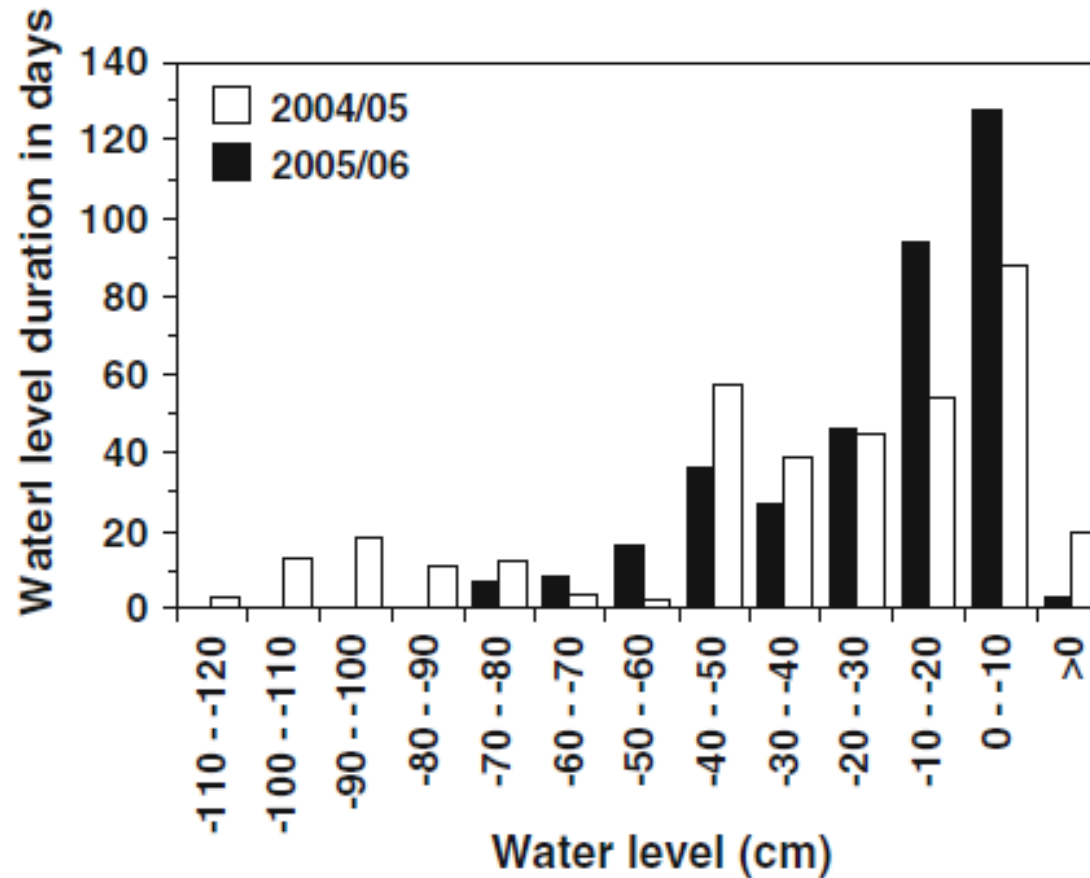


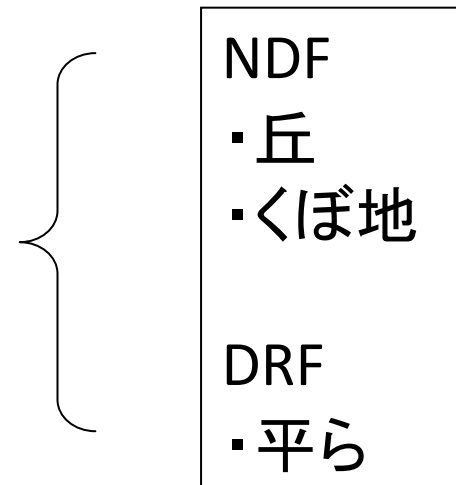
Figure 8. Peat water level in the deforested site before (2004–2005) and after (2005–2006) drainage canal blocking. Duration (days) of peat water level in 10 cm water level categories is shown and results are for 1-year periods starting from 29.6.2004.

(3) Restoration of Carbon Sink Function and Reduction of Greenhouse Gas Emissions

放出量を決定する要因

- 水位
- 泥炭の性質
- 温度
- pH

- NDF (non-drained forest)
- DRF (drained forest)



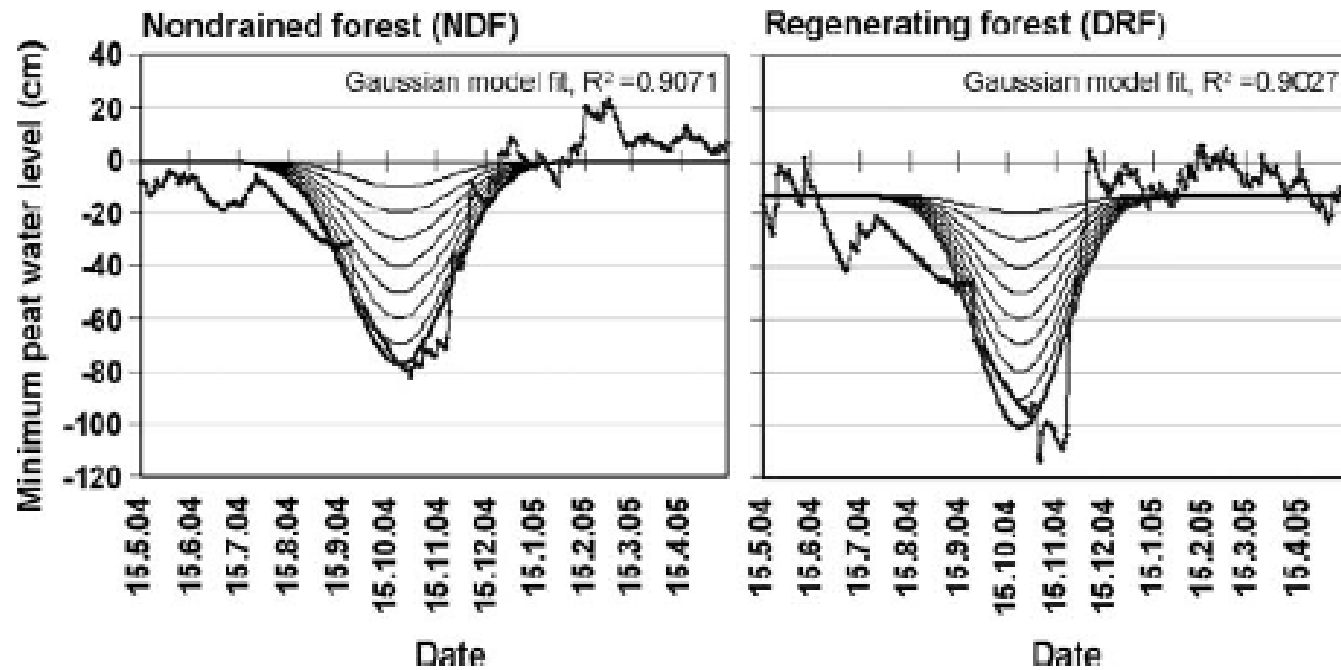
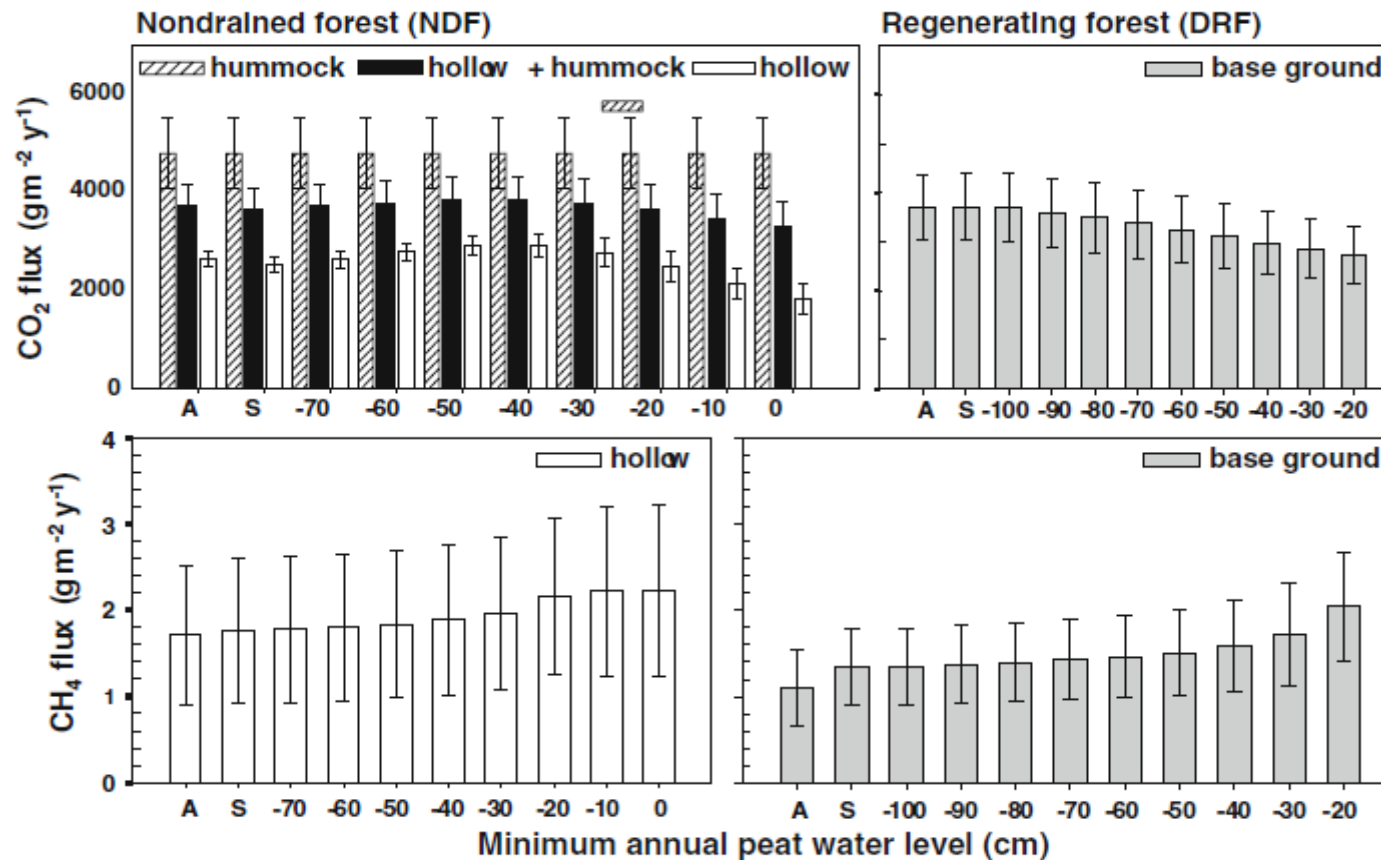


Figure 9. Diurnal base ground water levels (cm) in selectively logged, non-drained peat swamp forest (NDF) and an area of regenerating forest that had been subject to logging and drainage (DRF). Data for period 15.5.2004–15.5.2005. Actual water level (WL) data, WL

simulation by Gaussian model (form of $y = y_0 + a * \exp(-0.5 * (((x - x_0)/b)^2))$) fitted on the actual WL data (*thick curve*), and the forced simulated WL where the lowest annual WL is raised by 10 cm intervals by modifying coefficient y_0 (*thin curves*).

- 結果は今のところ、はっきりしない
- 水位が改善されれば、炭素の温室効果ガスの放出の安定につながる
- 水位が高いと火災は減るので、炭素隔離につながる



(4) Restoration of Local Livelihoods

- 持続可能な土地利用から大規模な伐採へ
- MRPへ →排水、さらなる伐採へ
- 悪循環 (環境の悪化、貧困の悪化)

解決策

- 外部からの融資、投資
- 長引く乾季における焼畑の阻止
- 住民の参加
- 住民への配慮
- 情報の発信

Discussion1

- 水位が低いと火による害は大きくなり、植生も変化させてしまう
- 水環境はきわめて重要であり、森林が破壊された地域で特に劣悪である
- 森林の破壊された泥炭地では隔離された炭素の大气への放出が進む
- 環境の悪化、貧困の悪化の悪循環

- 排水は周辺にも間接的に影響を及ぼす
- 一度火の害を受けた森の倒木やシダは燃えやすい
- キャノピーの喪失の蒸発散、降水量へのフィードバック

Discussion2

- 火と低水位の悪循環を断ち切る
- 激しく衰退した土地での樹木の更新
- 衰退した土地での樹木の更新を抑える障壁の調査の継続、強化
- 樹種ごとの乾燥、洪水への耐性の調査
- 植生のモニタリングの継続
- 地域社会の考え、要望への考慮
- 観察、評価法の手順の確立
- 適切なタイムスケールで、適切かつ現実的な修復の目標を明確にする

Conclusion

- 修復計画は
 - ①科学的な理論知識
 - ②地域の環境的、社会経済的状況との密接な関係のもとで行われなければならない
- 土地の劣化は泥炭湿地林が本来もつ機能を見失った土地開発の結果である
- なぜ劣化したのかという根本的な問題を解決しなければ、また同じことが繰り返されてしまう
- 修復は、泥炭についての教育、良好な環境政策、管理と手を取り合っていくべきである